

**PERBAIKAN KUALITAS LIMBAH CAIR KARET MENGGUNAKAN  
TANAMAN ECENG GONDOK (*Eichornia crassipes*) DENGAN  
METODE FITOREMIDIASI**

Oleh  
**IRA NUR ARIFAH**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
JURUSAN TANAH  
MALANG  
2018**

**PERBAIKAN KUALITAS LIMBAH CAIR KARET MENGGUNAKAN  
TANAMAN ECENG GONDOK (*Eichornia crassipes*) DENGAN  
METODE FITOREMEDIASI**

Oleh:

**IRA NUR ARIFAH  
125040201111181**

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI  
MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar  
Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
JURUSAN TANAH  
MALANG  
2018**

## PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini merupakan hasil penelitian saya sendiri, dengan bimbingan dosen pembimbing. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar di perguruan tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang jelas ditunjukkan rujukannya dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, Agustus 2018

Ira Nur Arifah



**LEMBAR PERSETUJUAN**

Judul Penelitian : Perbaikan Kualitas Limbah Cair Karet  
Menggunakan Tanaman Eceng Gondok  
(*Eichornia crassipes*) Dengan Metode  
Fitoremediasi

Nama Mahasiswa : Ira Nur Arifah

NIM : 125040201111181

Jurusan : Tanah

Prog Studi : Agroekoteknologi

Laboratorium : Biologi Tanah

Menyetujui : Dosen Pembimbing

Disetujui,  
Pembimbing Utama,

Dr. Ir. Yulia Nuraini, MS  
NIP.19611109 198503 2 001

Mengetahui,  
a.n Dekan  
Ketua Jurusan Tanah

Prof.Dr.Ir. Zaenal Kusuma, SU.  
NIP.195405011981031006

**Tanggal Persetujuan: .....**



## RINGKASAN

**IRA NUR ARIFAH. 125040201111181. Perbaikan Kualitas Limbah Cair Karet Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Dengan Metode Fitoremediasi. Di bawah bimbingan Yulia Nuraini.**

---

Pengolahan getah tanaman karet di Indonesia dengan menggunakan alat yang semakin canggih menghasilkan limbah cair karet yang mengandung bahan sisa yang sulit untuk diolah kembali. Kandungan limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik PT Perusahaan Perkebunan Kalibendo Banyuwangi berupa protein, nitrogen, fosfat, timbal, besi dan mangan. Berdasarkan hasil analisis baku mutu kualitas air limbah cair karet jumlah logam berat timbal (Pb) yang dijumpai pada limbah cair karet di PT Perusahaan Perkebunan Kalibendo Banyuwangi yaitu  $0,87 \text{ mg.L}^{-1}$ . Sedangkan menurut PPRI No.28 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air batas maksimum kandungan Timbal (Pb) yaitu  $0,03 \text{ mg.L}^{-1}$ . Pengolahan limbah cair industri dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengolahan secara biologi yang digunakan untuk mengatasi pencemaran lingkungan yaitu dengan cara fitoremediasi. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kemampuan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) untuk menyerap logam berat Timbal (Pb) dengan sistem fitoremediasi dan untuk mengetahui perbaikan kualitas limbah cair pengolahan getah karet dengan sistem fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) terhadap sifat kimia pH, BOD, DO, dan kadar Timbal (Pb).

Percobaan ini dilakukan pada bulan Maret sampai dengan Januari 2018, dilaksanakan di Rumah plastik di Desa Siliragung, Kecamatan Siliragung, Banyuwangi. Adapun tahapan penelitian ini adalah persiapan bak plastik untuk fitoremediasi limbah, aklimatisasi tanaman selama 7 hari, pengambilan sampel uji pada hari ke (7, 14, 21 dan 28) serta pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya, dan Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I, Malang. Perlakuan yang digunakan yaitu: K0 (tanpa tanaman eceng gondok), K1 (Kerapatan 2 tanaman eceng gondok), K2 (Kerapatan 4 tanaman eceng gondok), K3 (Kerapatan 6 tanaman eceng gondok), dan K4 (Kerapatan 8 Tanaman eceng gondok). Rancangan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 5 perlakuan dan 3 ulangan. Parameter yang diuji yaitu pH, BOD, DO, Timbal, Serapan Timbal (Pb) oleh tanama, berat basah dan berat kering tanaman. Data diuji menggunakan ANOVA taraf 5% dengan aplikasi *software* DSTAAT, jika ada perbedaan nyata maka dilanjutkan dengan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT) taraf 5%.

Berdasarkan hasil penelitian sistem fitoremediasi dengan menggunakan tanaman eceng gondok mampu menurunkan kadar timbal (Pb) limbah karet cair secara nyata pada pengamatan hari ke-7, sedangkan BOD dan DO mengalami penurunan secara nyata pada hari ke-28. Sistem fitoremediasi dengan eceng gondok (*Eichornia crassipes*) mampu meningkatkan kualitas limbah cair karet terutama pada pH 6,0-7,0. Perlakuan K4 dengan kerapatan 8 tanaman mampu menurunkan pH limbah cair karet sebesar 15,15%, BOD 31,2%, DO sebesar 31,48%, dan dapat menurunkan kadar Logam berat Timbal (Pb) sebesar 99,88%.

## SUMMARY

**IRA NUR ARIFAH. 12504020111181. Improving The Quality of Liquid Rubber Waste Using Eceng Gondok Plant (*Eichornia crassipes*) with Phytoremediation Method. Supervised by Yulia Nuraini.**

---

Processing rubber latex in Indonesia by using sophisticated tools produce rubber waste containing residual materials that are difficult to reprocess. The result liquid waste generated by PT. Perusahaan Perkebunan Kalibendo Banyuwangi is in the form of protein, nitrogen, phosphate, lead, iron, and manganese. Based on the result of standard quality analysis of rubber wastewater, the amount of lead metal (Pb) is  $0,87 \text{ mg.L}^{-1}$ . Based on PPRI number 28 years 2001 about management quality and control of water pollution maximum limit of lead content is  $0,03 \text{ mg.L}^{-1}$ . Processing the industrial liquid waste can be done by using the method of biological treatment to overcome environmental pollution that is called Phytoremediation. The research is to know the ability of water hyacinth (*Eichornia Crassipes*) to reduce lead metal with Phytoremediation system and to know the quality of rubber waste using Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) plant on chemical properties pH, BOD, DO, and Lead (Pb).

This research was conducted in March up to Januari 2018. The stages of this research were preparing a plastic tub in siliragung village, siliragung district, Banyuwangi. For the waste pharmaceutical, acclimatizing the plants for 7 days, sampling tests were on day 7, 14, 21, and 28 and the tests were conducted in Chemistry Department Laboratory of Faculty of Mathematics and Natural Sciences Universitas Brawijaya, and Water Quality Laboratory of Perum Jasa Tirta 1, Malang . The treatment used is K0 (without plants), K1 (density of 2 plants), K2 (density of 4 plants), K3 (density of 6 plants), and K4 (density of 8 plants). The design used was Completely Randomized Design (CRD) with 5 treatments and 3 replication. The parameters tested were pH, BOD, DO, Lead (Pb), Lead (Pb) absorption by plants, Dry weight and Wet weight of plant. The data were tested using ANOVA level of 5% with DSTAAT software application, if there was a real difference, it would be continued with the LSD (Least Significance Different) at 5% level.

Based on the result of this research, phytoremediation system by using water hyacinth was able to decrease rubber waste (Pb) level on the 7th day observation, while BOD and DO decreased on the 28th day. The phytoremediation system with a Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) was able to improve the quality of the wastewater of rubber especially at the pH of the waste between 6.0-7.0. K4 treatment with a density 8 plants reduced the pH of liquid waste rubber 15,15%, BOD 31,2%, DO as much 31,48%, and decreased the amount of heavy metal (Pb) as much 99,88%.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Perbaikan Kualitas Limbah Cair Karet Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Dengan Metode Fitoremediasi”** sebagai salah satu syarat yang harus dilalui dalam upaya menyelesaikan pendidikan pada program Studi Agroekoteknologi Minat Sumberdaya Lahan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.

Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Dr. Ir. Yulia Nuraini, M.S. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan arahan, nasihat, serta kesabarannya dalam membimbing dalam penyusunan proposal skripsi ini;
2. Ayah Achmad Zaini dan Ibu Katemi atas jasa-jasanya, kesabaran, doa serta yang senantiasa memberikan motivasi, dan mendukung penulis sehingga dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan baik;
3. Rekan-rekan MSDL 2012 khususnya: Ima Khosid Fadilah, Siska Nurfitriani, dan Amalia Citra N yang senantiasa memberikan dukungan dan turut membantu dalam penyusunan proposal skripsi, sehingga dapat terlaksana dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini belum sempurna, baik dari segi materi maupun penyajiannya. Untuk itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap, semoga dalam penulisan skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Agustus 2018

Penulis

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Bangkalan pada 14 Agustus 1993 dengan nama lengkap Ira Nur Arifah. Penulis adalah putri kedua dari dua bersaudara pasangan Alm Bapak Achmad Zaini dan Ibu Katemi.

Penulis menempuh pendidikan mulai dari TK (Taman Kanak-kanak) Perwanida Dua Sampang (1999) dan melanjutkan pendidikan dasar di SDN 1 Sampang (2000). Pada tahun 2003-2006 penulis melanjutkan pendidikan dasar ke SDN 2 Siliragung Kecamatan Siliragung. Penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Siliragung dari tahun 2006-2009. Penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Pesanggaran tahun 2009-2012. Pada tahun 2012 penulis terdaftar sebagai mahasiswa strata 1 Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang, Jawa Timur, melalui jalur SNMPTN Undangan.

Selama menempuh pendidikan di Universitas Brawijaya penulis mengikuti kegiatan-kegiatan yang dilaksanakan pada tingkat jurusan hingga universitas. Selain itu penulis juga melaksanakan kegiatan magang kerja di PT. Perusahaan Perkebunan Kalibendo, Kampunganyar, Glagah, Banyuwangi, Jawa Timur.

## DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN .....	i
SUMMARY .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR TABEL .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR LAMPIRAN .....	viii
1.1. Latar Belakang .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2. Tujuan Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3. Hipotesis .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4. Manfaat Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.5. Alur Pikir Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
II. TINJAUAN PUSTAKA .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1. Pencemaran Air .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2. Limbah Cair Karet .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3. Teknologi Pengolahan Limbah .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4. Fitoremediasi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.5. Eceng Gondok ( <i>Eichornia crassipes</i> ) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.6. Logam Berat Timbal (Pb) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.7. Penyerapan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Tanaman ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
III. METODE PENELITIAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1. Waktu dan Tempat .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2. Alat dan Bahan Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3. Rancangan Percobaan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4. Pelaksanaan Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5. Pengukuran Parameter Limbah Cair Karet .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.6. Analisis Data .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1. Karakteristik Limbah Cair Pengolahan Karet Sebelum Perlakuan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2. Kualitas Limbah Cair Karet .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
V. KESIMPULAN DAN SARAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.1. Kesimpulan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2. Saran .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
DAFTAR PUSTAKA .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
LAMPIRAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>





## DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Baku Mutu Limbah Cair Industri Karet .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.	Alat penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.	Bahan penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.	Perlakuan dalam Penelitian .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.	Parameter Pengamatan Limbah Cair Karet dan Tanaman Eceng Gondok .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.	Analisis Dasar Limbah Cair Karet di Perkebunan Kalibendo Banyuwangi .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
7.	Residu Timbal (Pb) dalam Limbah Cair Karet .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
8.	Serapan Pb (Timbal) Oleh Tanaman Eceng Gondok...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.	pH Limbah Cair Karet Selama 21 Hari Pengamatan ...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
10.	Rata-rata Kadar BOD Limbah Cair Karet.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
11.	Rata-rata Nilai Oksigen Terlarut (DO) .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
12.	Rata-rata Nilai Berat Basah Tanaman Eceng Gondok.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
13.	Rata-rata Berat Kering Tanaman Eceng Gondok.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Eceng Gondok.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.	Hubungan antara Berat Basah Tanaman dan Serapan Timbal (Pb).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.	Hubungan antara Berat Kering Tanaman dan Serapan Timbal (Pb).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>





## DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1.	Denah Percobaan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.	Alur Pelaksanaan Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.	ANOVA Residu Logam Timbal (Pb) Limbah Cair Karet ..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.	ANOVA Nilai Serapan Timbal (Pb) Limbah Cair Karet....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.	ANOVA Nilai BOD Limbah Cair Karet.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
6.	ANOVA Nilai DO Limbah Cair Karet .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
7.	ANOVA Nilai pH Limbah Cair Karet .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
8.	ANOVA Berat Basah Tanaman Eceng Gondok .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
9.	ANOVA Berat Kering Tanaman Eceng Gondok.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
10.	Rerata Efisiensi Penurunan Kadar Pb, BOD, DO, dan pH Selama 28 Hari Perlakuan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
11.	Berat Basah Tanaman Sebelum dan Sesudah Selama 28 Hari .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
12.	Hasil Analisa Korelasi Perlakuan BB, BK dan Serapan Pb	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
13.	Metode Analisa .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
14.	Konstruksi Bangunan Pengelolaan Limbah Cair Sisa Pengolahan Getah Karet.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
15.	Perkembangan Eceng Gondok dalam Berbagai Perlakuan Selama Waktu Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>



## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Tanaman karet merupakan tanaman yang berasal dari Negara Brazil. Di Indonesia tanaman karet pertama kali diperkenalkan pada tahun 1864 ketika Indonesia masih berada dibawah jajahan kolonial Belanda. Tanaman karet merupakan salah satu komoditi hasil perkebunan yang mempunyai peran yang cukup penting dalam kegiatan perekonomian Indonesia. Tanaman karet di Indonesia pertama kali ditanam di Kebun Raya Bogor sebagai tanaman koleksi, kemudian dikembangkan ke beberapa daerah sebagai tanaman perkebunan komersil, tidak terkecuali di Provinsi Jawa Timur. Di Jawa Timur perkebunan karet menurut Dirjen Pertanian dan Perkebunan tahun 2015 bahwa di Jawa Timur didominasi oleh perkebunan besar Negara dan kemudian oleh perkebunan besar swasta. Perkembangan produksi tanaman karet di Jawa Timur setiap tahun terus mengalami kenaikan. Produksi tanaman karet di Jawa Timur pada tahun 2013 sampai tahun 2015 berturut turut adalah 24.946 ton, 25.433 ton, dan 25.980 ton.

Salah satu perkebunan tanaman karet di Jawa Timur yang memproduksi getah karet setiap tahunnya yaitu PT. Perusahaan Perkebunan Kalibendo Banyuwangi. Perkebunan swasta PT Perusahaan Perkebunan Kalibendo memiliki hak guna usaha (HGU) seluas 822,96 Ha yang membudidayakan 3 jenis tanaman perkebunan yaitu karet, kopi dan cengkeh. Perkebunan Kalibendo juga merupakan perkebunan yang bergerak di bidang industri pengolahan getah karet. Hampir setiap hari pabrik di PT Perusahaan Perkebunan Kalibendo mengolah dan memproduksi getah karet. Hal tersebut mempengaruhi limbah industri yang semakin bertambah setiap tahunnya. Perkembangan teknologi industri yang semakin canggih tentunya mendorong dampak buruk bagi lingkungan di sekitarnya. Hal ini disebabkan semakin canggih alat yang digunakan maka akan semakin banyak jenis bahan sisa berbahaya yang sulit untuk diolah kembali ataupun dimusnahkan. Oleh sebab itu, limbah hasil pengolahan getah karet ini dapat menimbulkan dampak pencemaran yang sangat dahsyat, terutama pencemaran air.

Survei yang dilakukan di pabrik pengolahan karet di PT Perusahaan Perkebunan Kalibendo hanya terdapat satu kolam penampungan limbah saja dan

limbah yang berada di kolam tersebut hanya mengalami proses pengendapan dan kemudian mengalir ke sungai yang berada dekat dengan pabrik karet tersebut. Sehingga kualitas air limbah yang dihasilkan dari pabrik karet milik perkebunan Kalibendo tersebut tidak memenuhi syarat baku mutu pabrik karet. Buangan air limbah dari proses pengolahan pabrik karet tersebut langsung dibuang ke sungai atau perairan umum akan mengganggu lingkungan sekitarnya, karena akan mengakibatkan timbulnya polusi pada perairan. Menurut Situmorang (2007) analisis penentuan kualitas air sangat penting bagi pengguna air sebagai informasi tentang keberadaan senyawa kimia yang terkandung di dalam air. Berbagai zat kimia dan logam berat berbahaya yang terdapat di air limbah juga dapat menimbulkan masalah bagi makhluk hidup sekitarnya. Salah satu jenis logam berat yang potensial mencemari air adalah Timbal (Pb).

Kandungan limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik PT Perusahaan Perkebunan Kalibendo berupa protein, nitrogen, amonia, fosfat, timbal, besi dan mangan. Berdasarkan hasil analisis baku mutu kualitas air limbah cair karet jumlah logam berat Timbal (Pb) yang terdapat pada limbah cair karet di PT. Perusahaan Perkebunan Kalibendo yaitu  $0,87 \text{ mg.L}^{-1}$ . Nilai kandungan logam berat Timbal (Pb) tersebut dapat berbahaya apabila langsung dibuang di lingkungan. Masuknya logam berat tersebut dapat menurunkan kualitas air sehingga keseimbangan ekosistem terganggu. Logam berat Timbal (Pb) yang terkandung di dalam limbah cair industri karet di PT Perusahaan Perkebunan Kalibendo membuat air tersebut tidak memenuhi syarat bagi kesehatan terutama apabila digunakan untuk kebutuhan hidup seperti memasak dan minum.

Pengolahan limbah cair industri karet dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengolahan secara biologi. Salah satu alternatif teknik pengolahan secara biologi yang digunakan untuk mengatasi pencemaran lingkungan yaitu dengan menggunakan teknik pengolahan secara fitoremediasi. Fitoremediasi adalah penggunaan tanaman, pohon-pohonan, rumput-rumputan dan tanaman air, untuk menghilangkan atau memecahkan bahan-bahan berbahaya baik organik maupun anorganik dari lingkungan (Suryati dan Priyanto, 2003). Tanaman memiliki kemampuan menyerap logam tetapi dalam jumlah yang bervariasi. Beberapa tanaman mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi

tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, sehingga bersifat hiperakumulator (Hidayati, 2005).

Salah satu tanaman yang berpotensi untuk digunakan menjadi fitoremediator logam berat dalam pengolahan limbah adalah eceng gondok (*Eichornia Crassipes*). Eceng gondok (*Eichornia Crassipes*) merupakan tumbuhan akuatik yang secara teroris dapat menyerap air dan unsur yang terdapat didalamnya sehingga dapat digunakan sebagai bioindikator dalam penyebaran radionuklida dan depolutan pada limbah cair karet. Eceng gondok salah satu gulma air yang mampu berkembang biak secara generatif dan vegetatif. Eceng gondok (*Eichornia Crassipes*) merupakan salah satu tanaman yang dapat digunakan untuk pengolahan limbah karena sifat akarnya yang mampu menyerap zat-zat yang berbahaya. Eceng gondok mampu menurunkan kadar merkuri (Hg) pada air limbah pertambangan emas sebesar 30,6% dari 0,0178 mg.L<sup>-1</sup> menjadi 0,0126 mg.L<sup>-1</sup> (Lahenda *et al.*, 2015). Oleh karena itu, dari permasalahan yang ada di atas maka perlu dilakukan pengolahan limbah yang ramah lingkungan. Sehingga hal inilah yang mendasari peneliti untuk mengetahui dan menguji kerapatan tanaman eceng gondok (*Eichornia Crassipes*) sebagai tanaman yang mampu menurunkan kadar Timbal (Pb) pada limbah cair karet.

## 1.2. Tujuan Penelitian

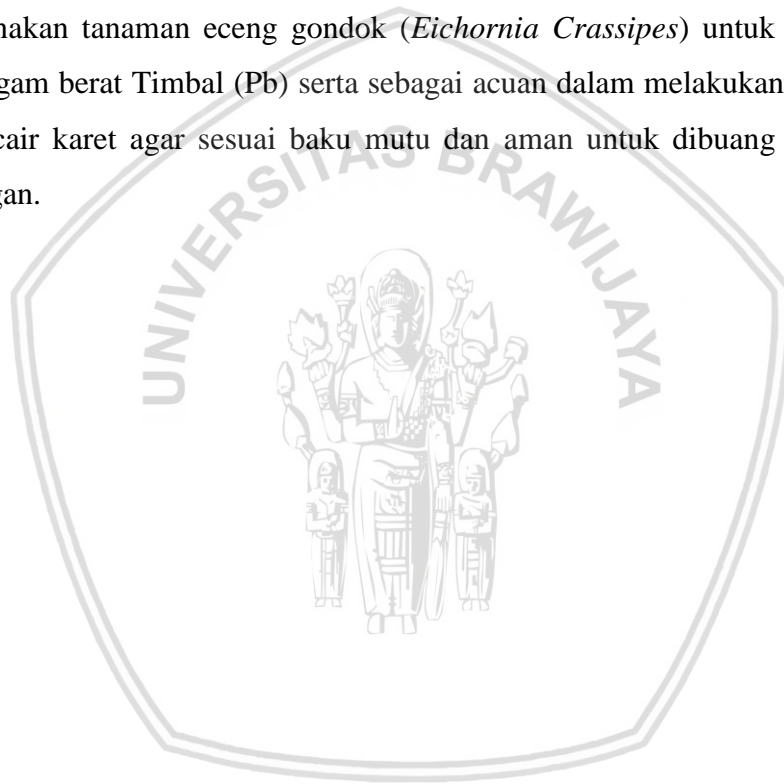
1. Mengetahui kemampuan tanaman eceng gondok (*Eichornia Crassipes*) untuk menurunkan kadar logam berat Timbal (Pb) dengan sistem fitoremediasi pada limbah cair industri karet.
2. Mengetahui perbaikan kualitas limbah cair karet dengan sistem fitoremediasi menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichornia Crassipes*) terhadap sifat kimia pH, BOD, DO, dan Timbal (Pb).

### 1.3. Hipotesis

1. Sistem fitoremediasi dengan menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichornia Crassipes*) dapat menurunkan kadar logam berat Timbal (Pb) pada limbah cair industri karet.
2. Sistem fitoremediasi dengan menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) mampu merubah sifat kimia pH, BOD, DO, dan Timbal (Pb) sebagai indikator peningkatan kualitas limbah cair karet.

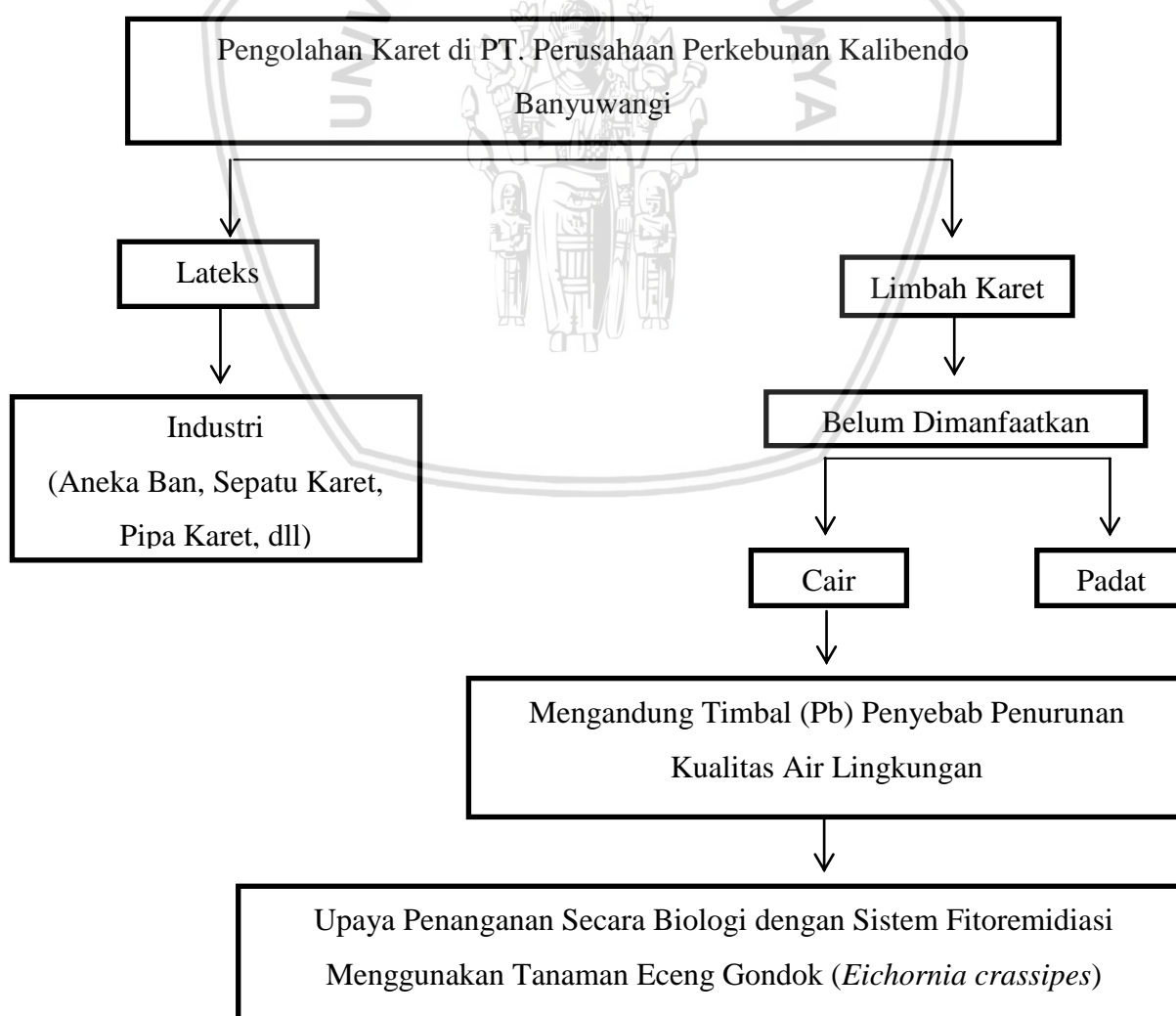
### 1.4. Manfaat Penelitian

Memberikan informasi mengenai penggunaan sistem fitoremediasi dengan menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichornia Crassipes*) untuk menurunkan kadar logam berat Timbal (Pb) serta sebagai acuan dalam melakukan pengelolaan limbah cair karet agar sesuai baku mutu dan aman untuk dibuang langsung ke lingkungan.



### 1.5. Alur Pikir Penelitian

PT. Perusahaan Perkebunan Kalibendo Banyuwangi merupakan pabrik pengolahan karet yang setiap hari mengolah dan memproduksi getah karet. Pengolahan karet tersebut menghasilkan yaitu yang pertama berupa lateks yang digunakan untuk bahan baku industri yang kedua berupa limbah padat dan cair karet. Limbah cair karet yang dihasilkan dari pengolahan karet ini setelah dilakukan analisa laboratorium ditemui adanya kandungan logam berat Timbal (Pb) sebesar  $0,87 \text{ mg.L}^{-1}$ . Kadar logam berat Timbal (Pb) tersebut jumlahnya melebihi ambang batas baku mutu limbah cair karet yaitu sebesar  $0,03 \text{ mg.L}^{-1}$ . Sehingga dilakukan upaya pengendalian secara biologi dengan menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) untuk menyerap dan menurunkan kadar logam berat Timbal (Pb) yang terkandung di dalam limbah cair karet. Dari penjelasan tersebut maka alur pikir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:





## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Pencemaran Air

Air merupakan salah satu dari ketiga komponen yang membentuk bumi (zat padat, air dan atmosfer). Bumi dilingkupi air sebanyak 70% sedangkan sisanya 30% berupa daratan (dilihat dari permukaan bumi). Udara mengandung zat cair (uap air) sebanyak 15% dari tekanan atmosfer (Gabriel, 2001). Air merupakan sumber daya alam yang diperlukan untuk jasad hidup orang banyak, bahkan oleh semua makhluk hidup. Saat ini, masalah utama yang dihadapi oleh sumber daya air meliputi kuantitas air yang sudah tidak mampu memenuhi kebutuhan yang terus meningkat dan kualitas air untuk keperluan domestik yang semakin menurun. Menurut (Effendi, 2003) kegiatan industri, domestik, dan kegiatan lain berdampak negatif terhadap sumber daya air, antara lain menyebabkan penurunan kualitas air.

Pencemaran air merupakan masalah lingkungan global, dan berhubungan erat dengan pencemaran udara serta penggunaan lahan tanah atau daratan. Definisi pencemaran air menurut Surat Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor : KEP-02/MENKLH/I/1988 Tentang Penetapan Baku Mutu Lingkungan adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, energi atau komponen lain ke dalam air atau berubahnya tatanan air oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air menjadi kurang atau sudah tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya.

### 2.2. Limbah Cair Karet

Karet termasuk dalam famili Euphorbiae atau tanaman getah-getahan. Karet merupakan salah satu hasil bumi yang mempunyai nilai jual tinggi. Hasil dari tumbuhan karet berupa lateks apabila diolah dapat menghasilkan berbagai macam produk yang dapat dimanfaatkan dalam kehidupan. Apabila dilihat dari tahapan produksi baik dari bahan baku berasal dari lateks dan bahan olahan karet rakyat, maka limbah yang terbentuk pada industri karet dapat berupa limbah padat, limbah cair, dan limbah gas. Industri karet berbahan baku lateks kebun menghasilkan limbah cair yang bersumber dari proses koagulasi, penggilingan,



peremahan, dan pencucian. Limbah cair industri karet berwarna putih keruh, mengandung padatan tersuspensi, terlarut maupun terendap.

Limbah cair industri karet memiliki nilai COD yang tinggi yang mengindikasikan bahwa padatan yang terdapat pada limbah cair industri karet merupakan senyawa organik. COD merupakan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mendegradasi bahan organik secara kimia di dalam air limbah sedangkan BOD merupakan parameter yang menentukan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mendegradasi bahan organik secara biologis di dalam air limbah. air limbah pabrik karet remah berbahan baku lateks kebun memiliki nilai COD berkisar antara 3.000-5.000 mg.L<sup>-1</sup> dan BOD 2.300-2.700 mg.L<sup>-1</sup> dengan rasio COD:BOD sekitar 1,5 sehingga tergolong limbah yang mudah terurai secara biologis. Selain itu, air limbah pabrik karet berbahan baku lateks kebun mengandung senyawa nitrogen sebesar 100-300 mg.L<sup>-1</sup> N-NH<sub>3</sub> dan fosfor sebesar 20 mg.L<sup>-1</sup> P-PO<sub>4</sub> (Utomo, 2012).

Tabel 1. Baku Mutu Limbah Cair Industri Karet

Parameter	Kadar Maksimum (mg.L <sup>-1</sup> )
BOD	100
COD	200
pH	6,0 - 9,0
Kadar Timbal (Pb)	0,03

Sumber : Standar Baku Mutu Sesuai dengan : Per. Gub. No. 52 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Kualitas Air untuk Limbah Cair Karet dan PPRI No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

### 2.3. Teknologi Pengolahan Limbah

Pembuangan air limbah baik yang bersumber dari kegiatan domestik (rumah tangga) maupun industri ke badan air dapat menyebabkan pencemaran lingkungan apabila kualitas air limbah tidak memenuhi baku mutu limbah. Agar limbah cair dapat dipergunakan kembali atau dibuang kembali ke lingkungan maka perlu dilakukan usaha untuk memisahkan bahan-bahan komponen pencemar ini dari dalam air. Menurut Ginting (2007), limbah membutuhkan pengolahan apabila ternyata banyak mengandung senyawa yang berbahaya dan menyebabkan pencemaran yang berakibat menciptakan kerusakan terhadap lingkungan atau paling tidak potensial menciptakan kerusakan terhadap lingkungan atau paling tidak potensial menciptakan pencemaran.

Berdasarkan karakteristik limbah, proses pengolahan dapat digolongkan menjadi 3 bagian, yaitu proses fisika, kimia, dan biologi.

#### 2.3.1. Pengolahan Secara Fisika

Pengolahan limbah secara fisika dilakukan melalui beberapa tahapan. Sebelum dilakukan pengolahan lanjutan terhadap air buangan, bahan-bahan tersuspensi berukuran besar dan yang mudah mengendap atau bahan-bahan tersuspensi berukuran besar dan yang mudah mengendap atau bahan-bahan yang terapung disisihkan terlebih dahulu. Penyaringan (*screening*) merupakan cara yang efisien dan murah untuk menyisihkan bahan tersuspensi yang berukuran besar. Bahan tersuspensi yang mudah mengendap dapat disisihkan secara mudah dengan proses pengendapan. Parameter desain yang utama untuk proses pengendapan ini adalah kecepatan mengendap partikel dan waktu detensi hidrolis di dalam bak pengendap.

Proses flotasi banyak digunakan untuk menyisihkan bahan-bahan yang mengapung seperti minyak dan lemak agar tidak mengganggu proses pengolahan berikutnya. Flotasi juga dapat digunakan sebagai cara penyisihan bahan-bahan tersuspensi (*clarification*) atau pemekatan endapan lumpur (*sludge thickening*) dengan memberikan aliran udara ke atas (*air flotation*). Proses filtrasi di dalam pengolahan air buangan, biasanya dilakukan untuk mendahului proses adsorpsi atau proses *reverse osmosis*-nya, akan dilaksanakan untuk menyisihkan sebanyak mungkin partikel tersuspensi dari dalam air agar tidak mengganggu proses adsorpsi atau menyumbat membran yang dipergunakan dalam proses osmosis. Proses adsorpsi, biasanya dengan karbon aktif, dilakukan untuk menyisihkan senyawa aromatik misalnya fenol dan senyawa organik terlarut lainnya, terutama jika diinginkan untuk menggunakan kembali air buangan tersebut. Teknologi membran (*reverse osmosis*) biasanya diaplikasikan untuk unit-unit pengolahan kecil (Dephut, 2015).

#### 2.3.2. Pengolahan Secara Kimia

Pengolahan air buangan secara kimia biasanya dilakukan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak mudah mengendap (koloid), logam-logam berat, senyawa fosfor, dan zat organik beracun dengan membubuhkan bahan kimia tertentu yang diperlukan. Penyisihan bahan-bahan tersebut pada

prinsipnya berlangsung melalui perubahan sifat bahan-bahan tersebut, yaitu dari tidak dapat diendapkan menjadi mudah diendapkan (flokulasi-koagulasi), baik dengan atau tanpa reaksi oksidasi-reduksi, dan juga berlangsung sebagai hasil reaksi oksidasi. Pengendapan bahan tersuspensi yang tidak mudah larut dilakukan dengan membubuhkan elektrolit yang mempunyai muatan yang berlawanan dengan muatan koloidnya agar terjadi netralisasi muatan koloid tersebut, sehingga akhirnya dapat diendapkan.

Penyisihan logam berat dan senyawa fosfor dilakukan dengan membubuhkan larutan alkali misalnya air kapur sehingga terbentuk endapan hidroksida logam-logam tersebut atau endapan hidroksiapatit. Endapan logam tersebut akan lebih stabil jika pH air  $>10,5$  dan untuk hidroksiapatit pada pH  $>9,5$ . Penyisihan bahan-bahan organik beracun seperti fenol dan sianida pada konsentrasi rendah dapat dilakukan dengan mengoksidasi menggunakan klor ( $\text{Cl}_2$ ), kalsium premangat, aerasi, ozon hidrogen peroksida (Dephut, 2015).

### 2.3.3. Pengolahan Secara Biologi

Pengolahan secara biologi dipandang sebagai pengolahan yang paling murah dan efisien. Menurut Djajadiningrat dan Wisjnuprpto dalam (Winardi, 2001) pengolahan air buangan secara biologi merupakan suatu cara pengolahan yang diarahkan untuk menurunkan substrat tertentu yang terkandung dalam air buangan dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme yang menggunakan zat pencemar sebagai substrat (sumber energi dan karbon) untuk pertumbuhan dan sintesa sel.

Terdapat dua jenis reaktor pengolahan secara biologis, di dalam reaktor pertumbuhan tersuspensi, mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi. Transformasi bahan-bahan organik yang terkandung dalam air menjadi gas-gas seperti  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , dan  $\text{H}_2\text{S}$  merupakan contoh yang jelas mengenai proses yang melibatkan kegiatan mikroorganisme tersebut. Sistem pengoprasian proses biologis sangat memegang peranan penting. Pengoperasian dapat dilakukan dalam dua bentuk yaitu operasi dengan adanya udara (aerob) dan tanpa udara (anaerob).

## 2.4. Fitoremidiasi

Fitoremidiasi berasal dari bahasa inggris *phytoremediation*, kata ini sendiri tersusun atas dua bagian kata yaitu phyto yang berasal dari kata Yunani *photon* (tumbuhan) dan *remediation* yang berasal dari kata latin *remedium* (menyembuhkan). Dengan demikian fitoremidiasi dapat didefinisikan sebagai penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan, memindahkan, menstabilkan, atau menghancurkan bahan pencemar baik itu senyawa organik maupun anorganik.

Fitoremidiasi dapat dibagi menjadi fitoekstraksi, rizofiltrasi, fitodegradasi, fitostabilisasi, fitovolatilisasi. Fitoekstraksi mencakup penyerapan kontaminan oleh akar tumbuhan dan translokasi atau akumulasi senyawa itu ke bagian tumbuhan seperti akar, daun atau batang. Rizofiltrasi adalah pemanfaatan kemampuan akar tumbuhan untuk menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi logam dan aliran limbah. fitodegradasi adalah metabolisme kontaminan di dalam jaringan tumbuhan misalnya oleh enzim dehalogenasi dan oksigenasi. Fitostabilisasi adalah suatu fenomena diproduksinya senyawa kimia tertentu untuk mengimobilisasi kontaminan di daerah rhizosfer. Fitovolatilisasi terjadi ketika tumbuhan menyerap kontaminan dan melepaskannya ke udara lewat daun, dapat pula senyawa kontaminan mengalami degradasi sebelum dilepas lewat daun (Priyatno dan Prayitno, 2004).

Mekanisme penghilangan kontaminan organik oleh tumbuhan ada dua cara yaitu:

1. Pengambilan secara langsung kontaminan organik dan akumulasi dari metabolit non fitotoksik pada jaringan tumbuhan.
2. Pelepasan enzim yang menstimulasi aktivitas mikroba di daerah akar.

Penggunaan tumbuhan sebagai agensia pembersih lingkungan bukan hal yang baru. Sejak lama telah dikenal manfaat tumbuhan sebagai pengusir zat beracun dari udara sehingga adanya tumbuhan dianggap sebagai penyegar udara di sekitarnya. Dengan semakin dipahaminya fisiologi dan genetika tumbuhan, maka pemanfaatan tumbuhan sebagai agensia pembersih lingkungan dapat semakin diperluas cakupannya dan diperhitungkan manfaatnya dari segi rekayasa serta nilai ekonominya (Priyanto dan Prayitno, 2004).

Teknologi ini sangat efektif, biaya murah dalam alternatif yang apabila dibandingkan dengan pembersihan tanah dan stabilisasi tanah yang konvensional dengan membandingkan beberapa tanaman atau pohon dan spesies rumput untuk menghilangkan dan mendegradasi atau mengimobilisasi bahan kimia yang berbahaya dari tanah. Kekurangan fitoremediasi adalah kontaminan yang terdapat di bawah kedalaman akar tidak dapat diekstrak dan tanaman atau pohon tersebut tidak bisa tumbuh pada tanah di setiap posisi tanah yang terkontaminasi karena toksisitas kontaminan. Sebagai tumbuhan proses remediasi dapat berlangsung lama untuk konsentrasi kontaminan untuk mencapai level yang diatur dari pada akhirnya membutuhkan masa yang lama agar remediasi dapat berjalan sesuai yang diharapkan (Suthersan, 1997).

#### 2.4.1. Tahapan Fitoremediasi

Pemanfaatan tumbuhan dalam aktivitas kehidupan manusia, untuk proses pemulihan lingkungan yang tercemar dengan menggunakan tumbuhan telah dikenal luas dengan istilah fitoremediasi (*phytoremediation*). Proses dalam sistem ini berlangsung secara alami dengan enam tahap proses secara serial yang dilakukan tumbuhan terhadap zat kontaminan atau pencemar yang berada di sekitarnya. Menurut Mangkoedihardjo (2005), keenam tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Phytoaccumulation* (*phytoextraction*) yaitu proses tumbuhan menarik zat kontaminan dari media sehingga berakumulasi di sekitar akar tumbuhan. Proses ini disebut juga *hyperaccumulation*.
2. *Rhizofiltran* (*rhizo*=akar) adalah proses adsorpsi atau pengendapan zat kontaminan oleh akar dengan cara menempel pada akar. Proses ini telah dibuktikan dengan percobaan menanam bunga matahari pada kolam mengandung zat radio aktif di Chernobyl, Ukraina.
3. *Phytostabilization* yaitu penempelan zat-zat kontaminan tertentu pada akar yang tidak mungkin terserap ke dalam batang tumbuhan. Zat-zat tersebut menempel erat pada akar sehingga tidak akan terbawa oleh aliran air dalam media.



4. *Rhizodegradation* yaitu penguraian zat-zat kontaminan oleh aktivitas mikroba yang berada di sekitar akar tumbuhan. Misalnya ragi, fungi dan bakteri.
5. *Phytodegradation (phytotransformation)* yaitu proses yang dilakukan tumbuhan untuk menguraikan zat kontaminan yang mempunyai rantai molekul yang kompleks menjadi molekul yang sederhana yang dapat berguna bagi pertumbuhan tumbuhan itu sendiri. Proses ini dapat berlangsung pada daun, batang, akar atau di luar sekitar akar dengan bantuan enzim yang dikeluarkan oleh tumbuhan itu sendiri.
6. *Phytovolatilization* yaitu proses menarik dan transpirasi zat kontaminan oleh tumbuhan dalam bentuk yang telah menjadi larutan terurai sebagai bahan yang tidak berbahaya lagi untuk selanjutnya diuapkan ke atmosfer. Beberapa tumbuhan dapat menguapkan air 200-1000 liter per hari untuk setiap batang.

Mekanisme penyerapan limbah organik, metode penurunan atau penghilangan substansi toksik dalam air limbah dengan media tanaman lebih dikenal dengan istilah fitoremediasi. Fitoremediasi itu sendiri adalah pemanfaatan tanaman untuk mengekstraksi, menghilangkan, dan mendetoksifikasi polutan dari lingkungan.

### 2.5. Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

Eceng gondok terkenal di Indonesia karena seringnya mengganggu perairan, baik danau-danauan, aliran sungai atau waduk buatan. Menurut (Gerbono, 2005) yang menyebutkan bahwa eceng gondok termasuk *famili Pontederiaceae*. Tanaman ini hidup di daerah tropis maupun subtropis. Eceng gondok digolongkan sebagai gulma perairan yang mampu menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan dan berkembang biak secara cepat. Eceng gondok hidup mengapung bebas bila airnya cukup dalam tetapi berakar di dasar kolam atau rawa jika airnya dangkal. Tempat tumbuh yang ideal bagi tanaman eceng gondok adalah perairan yang dangkal dan berair keruh, dengan suhu berkisar antara 28-30°C dan kondisi pH berkisar 4-12. Di perairan yang dalam dan berair jernih di dataran tinggi, tanaman ini sulit tumbuh. Eceng gondok mampu menghisap air dan menguapkannya ke udara melalui proses evaporasi.

Daun eceng gondok berbentuk bulat telur, berwarna hijau segar, dan mengkilap. Di perairan yang mengandung nitrogen tinggi, eceng gondok memiliki daun yang relatif lebar dan berwarna hijau tua. Sebaliknya di perairan yang mengandung nitrogen rendah, eceng gondok memiliki daun yang relatif kecil dan berwarna kekuning-kuningan, karena pertumbuhan eceng gondok tergantung dari nutrisi yang tersedia dan cahaya matahari untuk fotosintesis (Ripley, 2006). Akar eceng gondok menyerupai rambut dan menggantung pada pangkal batang, berjumlah banyak sesuai dengan fungsinya, yakni untuk menyerap zat-zat hara yang terlarut dalam air, panjang akar rata-rata 30-60 cm bahkan bisa lebih. Tangkai daun memanjang, berbentuk silindris, dengan diameter 1-2 cm. Tangkai ini mengandung air yang dibalut serat yang kuat dan lenutr. Akar tanaman ini mampu menetralkan air yang tercemar limbah sehingga seringkali dimanfaatkan untuk penanganan limbah industri.

Bunga eceng gondok berwarna ungu muda dan banyak dimanfaatkan sebagai bunga potong. Apabila sedang mekar bunga tampil mencolok karena ukurannya yang cukup besar hampir menyamai daun. Warna bunga yang ungu, tumbuh tegak, berbentuk tandan. Bunga tersebut terdiri dari 4-6 kuntum tiap tangkainya dan tersusun pada sebuah malai. Dapat membentuk biji, reproduksi lebih banyak dilakukan dengan stolon (Marianto, 2001).



Gambar 1. Eceng Gondok (Sumber: Plantamor 2016)

Eceng gondok memiliki keunggulan dalam kegiatan fotosintesis, penyediaan oksigen dan penyerapan sinar matahari. Bagian dinding permukaan akar, batang, dan daunnya memiliki lapisan yang sangat peka sehingga pada kedalaman yang ekstrem sampai 8 meter di bawah permukaan air masih mampu

menyerap sinar matahari serta zat-zat yang larut di bawah permukaan air. Akar, batang, dan daunnya juga memiliki kantung-kantung udara sehingga mampu mengapung di air. Keunggulan lain dari eceng gondok adalah dapat menyerap senyawa nitrogen dan fosfor dari air yang tercemar, berpotensi untuk digunakan sebagai komponen utama pembersih air limbah dari berbagai industri dan rumah tangga. Menurut Zimmel (2006) eceng gondok juga dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi COD dari air limbah.

Menurut Widyaningsih (2007) struktur anatomi eceng gondok terdiri dari struktur batang, struktur daun dan struktur akar. Batang tanaman eceng gondok (*petiola*) yang berbentuk bulat menggembung didalamnya penuh dengan ruang-ruang udara yang berfungsi untuk mengapung di atas permukaan air. Lapisan terluar dari *petiola* adalah *epidermis*. Lapisan epidermis pada eceng gondok tidak berfungsi sebagai alat perlindungan jaringan, tetapi berfungsi untuk mengabsorpsi gas-gas dan zat-zat makanan secara langsung dari air. Jaringan di sebelah dalam banyak terdapat jaringan pengangkut yang terdiri dari xylem dan floem, dengan letak yang tersebar merata di dalam parenkim. Menurut Ratnani (2008), dalam meneliti mengenai kemampuan eceng gondok untuk mengolah limbah cair tahu didapatkan kesimpulan bahwa eceng gondok dapat digunakan untuk mengolah limbah cair tahu. Dalam penelitian tersebut eceng gondok juga dapat meningkatkan pertumbuhan eceng gondok.

Syarat pertumbuhan yang optimum bagi eceng gondok adalah air yang dangkal, ruang tumbuh luas, air tenang, cukup cahaya matahari, suhu antara 20-30°C, cukup unsur hara, dan pH antara 7-7,5. Eceng gondok memanfaatkan kedalaman air secara terbatas yakni antara 2-3 meter. Namun di daerah tropis ada kemungkinan sampai sedalam 5 meter. Hal ini disebabkan penetrasi cahaya matahari hanya akan terjadi pada kedalaman 2-3 meter atau paling banyak 5 meter di bawah permukaan air. Eceng gondok sangat memerlukan cahaya matahari yang cukup dan suhu optimum 25-30°C. Ketenangan air merupakan faktor yang sangat penting untuk memungkinkan pertumbuhan massal dari eceng gondok.

Eceng gondok merupakan tumbuhan yang sangat toleran terhadap kadar unsur hara yang rendah dalam air, tetapi respon terhadap kadar unsur hara yang tinggi juga sangat besar. Pertumbuhan eceng gondok dipengaruhi oleh pH. Pada



pH sekitar 7,0-7,5, eceng gondok mempunyai pertumbuhan yang lebih baik. Pada pH di bawah 4,2 dapat meracuni pertumbuhan eceng gondok, sehingga eceng gondok mati. Eceng gondok dapat dimanfaatkan untuk proses pemulihan lingkungan. Pemanfaatan tumbuhan dalam aktivitas kehidupan manusia untuk proses pemulihan lingkungan yang tercemar dengan menggunakan tumbuhan telah dikenal dengan istilah fitoremediasi. Menurut Sriyana (2006), eceng gondok dapat menyerap zat organik melalui ujung akar. Zat-zat organik yang terserap akan masuk ke dalam batang melalui pembuluh pengangkut kemudian menyebar ke seluruh bagian tanaman eceng gondok. Pada proses ini zat organik akan mengalami reaksi biologi dan terakumulasi di dalam batang tanaman, kemudian diteruskan ke daun.

## 2.6. Logam Berat Timbal (Pb)

Logam berat adalah bahan-bahan alami yang berasal dari lapisan tanah bumi. Logam berat dapat masuk ke dalam tubuh makhluk hidup melalui makanan, air minum, dan udara pernafasan. Logam berat berbahaya karena cenderung terakumulasi di dalam tubuh makhluk hidup. Laju akumulasi logam-logam berat ini di dalam tubuh lebih cepat dari kemampuan tubuh untuk membuangnya. Akibatnya keberadaan logam berat di dalam tubuh semakin tinggi, dan dari waktu ke waktu memberikan dampak yang makin merusak (Yudatomo, 2009).

Timbal merupakan salah satu logam berat yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Dalam bumi terkandung sekitar 13 ppm, dalam tanah antara 2,6-25 ppm, di perairan sekitar 3 mg.L<sup>-1</sup> dan dalam air tanah jumlahnya kurang dari 0,1 ppm. Ada beberapa unsur logam yang termasuk elemen mikro merupakan logam berat yang tidak mempunyai fungsi biologis sama sekali. Logam tersebut bahkan sangat berbahaya dan dapat menyebabkan keracunan pada organisme, yaitu Timbal (Pb), Merkuri (Hg), Arsen (As), Kadmium (Cd) dan Aluminium (Al). Logam berat dibagi menjadi tiga kelompok berdasarkan tingkat potensi toksisitasnya terhadap makhluk hidup dan aktivitas mikroorganisme, yaitu ekstrim toksik (Hg dan Pb), toksik sedang (Cd), dan toksik rendah (Cu, Ni, dan Zn). Logam Pb umumnya terdapat dalam tanaman pangan berasal dari pencemaran atmosfer karena penggunaan bahan bakar fosil (Barchia, 2009).

## 2.7. Penyerapan Logam Berat Timbal (Pb) Pada Tanaman

Tanaman memiliki kemampuan menyerap yang memungkinkan pergerakan ion menembus membran sel, mulai dari unsur yang berlimpah sampai unsur yang sangat kecil dibutuhkan tanaman. Logam berat Timbal (Pb) tidak termasuk kedalam unsur hara, sehingga untuk menyerap logam berat Timbal tersebut tanaman membuat suatu zat untuk mengikat logam Timbal (Pb) tersebut dengan merubah pH untuk diangkut dan dicerna di dalam jaringan tubuh dari tumbuhan tersebut. Logam berat Timbal bersifat racun pada tanaman maka untuk mencegah keracunan, tanaman menimbun logam berat timbal tersebut di dalam akar. Kecepatan penyerapan zat pencemar dari dalam limbah oleh eceng gondok dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya komposisi dari kadar zat yang terkandung dalam air limbah, jumlah rumpun akar tanaman eceng gondok dan waktu tinggal eceng gondok dalam air limbah (Hayati 1992 dalam Fariez 2014).

Penyerapan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dibagi menjadi tiga proses yaitu: pertama, penyerapan oleh akar. Agar tanaman dapat menyerap logam, maka logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (*rizosfer*) dengan beberapa cara bergantung pada spesies tanaman. Senyawa-senyawa yang larut dalam air biasanya diambil oleh akar bersama air, sedangkan senyawa-senyawa hidrofobik diserap oleh permukaan akar. Kedua, translokasi logam dari akar ke bagian tanaman lain. Setelah logam menembus endodermis akar, logam atau senyawa asing lain mengikuti aliran transpirasi ke bagian atas tanaman melalui jaringan pengangkut (*xylem* dan *floem*) ke bagian tanaman lainnya. Ketiga, lokalisasi logam pada sel dan jaringan. Hal ini untuk menjaga agar logam tidak menghambat metabolisme tanaman. Sebagai upaya untuk mencegah peracunan logam terhadap sel, tanaman mempunyai mekanisme detoksifikasi misalnya dengan menimbun logam di dalam organ tertentu seperti akar (Priyanto dan Prayitno, 2004). Tumbuhan mempunyai alat pengangkut yang disebut *xylem*. Tumbuhan tidak memiliki daya memilih makanan yang diserapnya sehingga makanan yang tersedia dalam air limbah langsung diangkut tanpa seleksi. Hal ini menyebabkan tumbuhan tidak dapat memilih unsur apa yang perlu dan merugikan baginya.

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada Maret 2017 sampai dengan Januari 2018 di Rumah plastik di Desa Siliragung, Kecamatan Siliragung, Kabupaten Banyuwangi. Pengambilan sampel limbah cair karet di PT Perusahaan Perkebunan Kalibendo, Banyuwangi. Analisa air dilaksanakan di Laboratorium Lingkungan Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya dan di Laboratorium Kualitas Air Perum Jasa Tirta I, Malang.

#### 3.2. Alat dan Bahan Penelitian

##### 3.2.1. Alat

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah (Tabel 2).

Tabel 1. Alat penelitian

No.	Nama Alat	Fungsi
1	Bak Uji Coba	wadah yang berasal dari plastik dengan diameter 35 cm dan kapasitas 6 liter sebagai tempat perlakuan
2	pH meter	untuk mengukur besar pH air limbah
3	Gayung	media yang digunakan untuk memindahkan limbah cair karet ke dalam bak percobaan dan ke jirigen
4	Botol plastik	wadah sampel yang akan diuji
5	Penggaris	alat untuk mengukur tinggi permukaan limbah cair karet
7	Timbangan	untuk menimbang berat basah dan kering tanaman
8	Kertas label	untuk memberi label

##### 3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan untuk kegiatan penelitian ini adalah (Tabel 3).

Tabel 2. Bahan penelitian

No.	Nama Bahan	Fungsi
1	Limbah cair karet	sebagai bahan perlakuan
2	Eceng gondok ( <i>Eichornia crassipes</i> )	sebagai bahan perlakuan
3	Air PDAM	sebagai aklimatisasi tanaman

### 3.3. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 5 perlakuan yang masing-masing perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali ini digunakan untuk menguji tanaman yang mampu menyerap logam berat berbahaya yang dapat mencemari lingkungan dengan fitoremediasi. Perlakuan dalam penelitian dapat dilihat pada (Tabel 4).

Tabel 3. Perlakuan dalam Penelitian

No.	Perlakuan	Keterangan
1	K0	Tanpa tanaman
2	K1	Kerapatan 2 tanaman
3	K2	Kerapatan 4 tanaman
4	K3	Kerapatan 6 tanaman
5	K4	Kerapatan 8 tanaman

### 3.4. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel limbah cair industri karet

Limbah cair yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari pabrik industri karet PT. Perusahaan Perkebunan Kalibendo, Banyuwangi. Limbah cair diambil dari bak penampungan sementara yang terdapat di dalam pabrik kemudian ditampung dalam jerigen, kemudian dibawa ke laboratorium untuk diuji kandungan awal sebelum diberikan perlakuan.

2. Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

Tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanaman eceng gondok. Tanaman eceng gondok diambil dari kolam sekitar tempat penelitian. Tanaman eceng gondok yang digunakan memiliki kriteria dengan jumlah daun 3-6 lembar, daun yang masih segar dan tidak menguning, panjang daun 3-6 cm, tinggi tanaman 10-14 cm dan berat basah sekitar 15-20 g. Penentuan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) yang digunakan didasarkan pada penelitian terdahulu yaitu oleh Hartanti *et al.* (2014) yang menggunakan tanaman eceng gondok dengan

kriteria jumlah daun 3-6 lembar, kemudian berat basah sekitar 15-20 gram dalam menurunkan logam Chromium pada limbah cair penyamakan kulit.

### 3. Aklimatisasi tanaman

Tanaman eceng gondok yang digunakan terlebih dahulu dibersihkan dari kotoran yang menempel untuk kemudian diaklimatisasi dengan media tanam air PDAM sebelum penelitian. Aklimatisasi tanaman dilakukan dengan mengadaptasikan tanaman pada bak plastik selama 3 hari sebelum dipindahkan ke bak uji yang sesungguhnya.

### 4. Persiapan penelitian

Penelitian dilakukan dengan mempersiapkan bak-bak percobaan dengan diameter 35 cm dan volume 6 L yang akan digunakan untuk penelitian sebanyak 15 buah. Bak percobaan yang digunakan sebelumnya dibersihkan dengan menggunakan sabun dan dibilas dengan air kemudian dikeringkan. Penentuan pemilihan bak percobaan ini didasarkan pada penelitian terdahulu yang menggunakan bak plastik dengan diameter 30 cm oleh Syafrudin *et al.* (2015) dalam menurunkan limbah cair batik dan Yulianti *et al.* (2005) yang menggunakan bak plastik dengan diameter 40 cm dalam menurunkan limbah cair pabrik karet PTPN IX Kebun Batu Jamus Karanganyar. Sehingga, digunakan diameter bak plastik diantara kedua pertimbangan penelitian tersebut.

Kemudian mempersiapkan tanaman eceng gondok dengan jumlah yang telah ditentukan yaitu sebanyak 2 individu, 4 individu, 6 individu, dan 8 individu. Limbah cair karet yang sebelumnya dipersiapkan kemudian dimasukkan ke dalam bak-bak percobaan kemudian dimasukkan tanaman eceng gondok. Jumlah tanaman eceng gondok yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada penelitian terdahulu yaitu oleh Hartanti *et al.* (2014) yang menggunakan jumlah tanaman eceng gondok sebanyak 2 individu, 4 individu, dan 6 individu dalam menurunkan limbah cair penyamakan kulit.

## 5. Pengambilan dan Pengujian Sampel

Pengambilan sampel dan pengamatan dilakukan setiap 7 hari sekali selama 28 hari. Pengambilan sampel dilakukan pada hari ke-7, hari ke-14, hari ke-21 dan hari ke-28. Pengambilan sampel dilakukan dengan mengambil air dengan gayung pada masing-masing bak percobaan kemudian dimasukkan ke dalam botol plastik ukuran 600 mL. Kemudian di bawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian pada setiap parameternya. Pengujian di laboratorium dilakukan setiap 7 hari sekali selama 28 hari setelah tanam.

### 3.5. Pengukuran Parameter Limbah Cair Karet

Pengujian setiap kadar parameter untuk baku mutu limbah cair karet Perkebunan Kalibendo yang telah dilakukan perlakuan untuk mengetahui besar penurunan pada setiap parameter yang diamati. Pengukuran parameter pengamatan dilakukan sebelum perlakuan dan setelah dilakukan perlakuan. Parameter pengamatan yang akan diuji adalah (Tabel 5).

Tabel 4. Parameter Pengamatan Limbah Cair Karet dan Tanaman Eceng Gondok

No.	Parameter Pengamatan	Metode	Pengambilan Sampel Uji
1.	Limbah Cair Karet		
	DO ( <i>Disolved Oxygen</i> )	Winkler	0 dan 28 hari
	pH	Elektrometri	0, 7, 14, 21, dan 28 hari
	Kandungan Logam Timbal (Pb)	Spektrofotometer	0 dan 28 hari
	BOD	Winkler	0 dan 28 hari
2.	Tanaman Eceng Gondok		
	Berat Basah	Penimbangan	0 dan 28 hari
	Berat Kering	Penimbangan	28 hari

Kerapatan tanaman yang digunakan dalam percobaan ini yaitu dengan menggunakan 2, 4, 6, 8 jumlah tanaman dalam setiap bak percobaan. Luas area total bak percobaan yang digunakan yaitu dengan diameter 35cm.



### 3.6. Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran nilai parameter Timbal (Pb), BOD (*Biologycal Oxygen Demand*), Oksigen terlarut (DO), pH, berat basah dan berat kering tanaman kemudian dianalisis ragam menggunakan sidik ragam ANOVA untuk RAL dengan taraf nyata ( $F=5\%$ ) untuk melihat pengaruh antar perlakuan kemudian dilanjutkan dengan uji BNT pada taraf 5% untuk melihat perbedaan yang terlihat antar perlakuan.







## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Karakteristik Limbah Cair Pengolahan Karet Sebelum Perlakuan

Umur tanaman sangat berpengaruh terhadap produksi latek yang dihasilkan. Tanaman karet yang terlalu muda tidak akan menghasilkan lateks, begitu pula jika umur tanaman karet terlalu tua juga tidak akan menghasilkan latek. Menurut Janudianto *et al.* (2013) karet mulai menghasilkan latek pada saat berumur 4-6 tahun dengan puncak produktivitasnya antara umur 12-20 tahun, setelah usia tersebut sekitar 25-30 tahun sudah menurun tingkat produktivitasnya. Lingkar batang tanaman karet yang bisa diambil lateksnya berkisar antar 45 cm pada ketinggian minimal 100 cm dari bawah permukaan tanah.

Sebelum dilakukan pengolahan, limbah cair industri karet dianalisa terlebih dahulu untuk mengetahui kadar BOD, DO, kadar Pb (Timbal) dan pH yang terkandung di dalam limbah cair industri karet. Air limbah yang tercemar oleh komponen-komponen anorganik antara lain terdapat berbagai logam berat yang berbahaya. Logam berat mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai, dapat terakumulasi dalam organisme sehingga dapat membahayakan bagi kesehatan. Konsentrasi logam berat yang melebihi batas ambang bersifat akumulatif dalam sistem biologis (Herwanto dan Santoso, 2006).

Limbah karet yang diambil untuk penelitian ini berasal dari limbah karet yang berada di Perkebunan Kalibendo, Banyuwangi. Karakteristik dari limbah cair industri karet sebelum dilakukan pengolahan dan sebelum dibuang ke lingkungan adalah berwarna putih keruh. Pengambilan sampel limbah cair karet dilakukan tanpa menggunakan teknik sampling. Logam berat seperti Pb (Timbal) yang terdapat di dalam limbah karet dapat bersifat racun bagi tubuh manusia, karena dapat mempengaruhi metabolisme kalsium dan menghalangi aktivitas enzim. Hasil analisa awal limbah cair industri karet dapat dilihat pada (Tabel 6).

Tabel 1. Analisis Dasar Limbah Cair Karet di Perkebunan Kalibendo Banyuwangi

No	Parameter	Satuan	Hasil	Standar Baku Mutu*	Keterangan
1	pH (H <sub>2</sub> O)	-	6,5	6,0-9,0	Sesuai standar baku mutu
2	BOD	mg.L <sup>-1</sup>	7,70	100	Di bawah standar baku mutu
3	DO	mg.L <sup>-1</sup>	6,2	3	Sesuai standar baku mutu
4	Pb (Timbal)	mg.L <sup>-1</sup>	<b>0,87</b>	0,03	Melebihi standar baku mutu

\*) Standar Baku Mutu Sesuai dengan : Per. Gub. No. 52 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Kualitas Air untuk Limbah Cair Karet dan PPRI No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air. Nilai standar baku mutu merupakan nilai maksimum kecuali parameter DO yang merupakan nilai minimum.

Analisis dasar dilakukan dengan satu kali pengambilan sampel. Dari hasil pengujian sampel pada Tabel 6 di atas terdapat parameter yang belum sesuai dengan baku mutu kualitas limbah karet. Parameter yang belum sesuai diantaranya yaitu nilai logam berat Timbal (Pb). Hasil analisa limbah cair tersebut menunjukkan nilai pH yang sesuai standart baku mutu yaitu sebesar 6,5. Pada Tabel 6 juga dapat dilihat untuk parameter BOD sebesar 7,70 mg.L<sup>-1</sup>, dan DO sebesar 6,2 mg.L<sup>-1</sup>. Kadar Pb (Timbal) pada hasil analisa tersebut menunjukkan hasil yang cukup tinggi yaitu sebesar 0,87 mg.L<sup>-1</sup> dan melebihi standar baku mutu kualitas limbah karet yang sudah ditentukan yaitu sebesar 0,03 mg.L<sup>-1</sup>. Dari penelitian terdahulu oleh Ningsih *et al.* (2014) dalam menurunkan limbah cair karet ditemukan adanya kandungan logam berat Timbal (Pb) sebesar 0,34 mg.L<sup>-1</sup>, dari hasil tersebut dapat diketahui kadar logam berat Timbal (Pb) yang terdapat dalam limbah cair karet di PT. Perusahaan Perkebunan Kalibendo memiliki kandungan yang cukup besar. Logam berat dapat membahayakan bagi kehidupan manusia jika konsentrasinya melebihi batas ambang yang diijinkan. Menurut Herwanto dan Santoso (2006) , meskipun konsentrasi logam berat belum melebihi batas ambang, keberadaan logam berat telah diketahui bersifat akumulatif dalam sistem biologis. Oleh sebab itu, adanya kandungan logam berat Pb (Timbal) yang melebihi batas ambang perlu diturunkan kadarnya sesuai dengan baku mutu kualitas limbah cair karet dibuang ke lingkungan.

## 4.2. Kualitas Limbah Cair Karet

Limbah cair merupakan buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi industri yang kehadirannya pada suatu tempat tertentu tidak dikehendaki lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomis. Sedangkan, kualitas limbah cair merupakan tingkat baik buruknya limbah yang ditentukan oleh parameter yang ditentukan. Pada penelitian ini, parameter yang diamati yaitu serapan logam berat Pb (timbal), derajat keasaman (pH), BOD, dan DO.

### 4.2.1. Residu Timbal (Pb) Dalam Limbah Cair Karet

Limbah dari pengolahan karet terdapat kandungan timbal yang melebihi ambang batas. Keberadaan timbal dalam pengolahan karet dapat diduga karena adanya pemakaian alat-alat dalam pengolahan karet yang menggunakan logam. Logam Pb dalam perairan merupakan suatu masalah yang perlu mendapat perhatian khusus, karena logam berat ini dapat berpengaruh terhadap seluruh organisme yang ada di perairan dan dapat terakumulasi dalam rantai makanan (Nybakken, 1985 dalam Sahara, 2009). Logam berat Pb bersifat racun bagi tubuh manusia, karena mempengaruhi metabolisme kalsium dan menghalangi aktivitas enzim. Oleh karena logam-logam berat ini sangat beracun dan tidak dapat diurai oleh organisme dalam perairan. Nilai Timbal (Pb) awal sebelum diberi perlakuan adalah  $0,87 \text{ mg.L}^{-1}$ . Penelitian ini dilakukan dengan cara pemberian kerapatan tanaman yang berbeda pada bak-bak percobaan dengan perlakuan 2 tanaman, 4 tanaman, 6 tanaman dan 8 tanaman. Nilai kandungan Timbal (Pb) limbah cair pengolahan karet mengalami penurunan yang cukup signifikan setelah mendapat perlakuan menggunakan eceng gondok. Penurunan kandungan logam berat Timbal (Pb) pada masing-masing perlakuan terjadi mulai dari 7 HST sampai dengan 28 HST (Tabel 7).

Tabel 2. Residu Timbal (Pb) dalam Limbah Cair Karet

Perlakuan	Pb (mg.L <sup>-1</sup> )			
	7HST	14HST	21HST	28HST
K0	0,87 d	0,46 a	0,33 a	0,22 a
K1	0,76 c	0,34 b	0,25 ab	0,19 a
K2	0,69 bc	0,22 c	0,19 bc	0,08 b
K3	0,67 b	0,21 c	0,17 bc	0,07 b
K4	0,57 a	0,18 c	0,06 c	0,001 b
BNT 5%	9,26	0,12	0,13	9,4

Keterangan: Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama, tidak berbeda nyata pada uji BNT 5% (p= 0,05); HST= Hari Setelah Tanam

Berdasarkan dari tabel tersebut menunjukkan bahwa adanya perbedaan penurunan nilai timbal oleh tanaman eceng gondok pada limbah cair pengolahan karet (Lampiran 3). Pada perlakuan tanaman kontrol K0 memiliki nilai timbal terbesar dibandingkan dengan perlakuan lainnya yaitu sebesar 0,87 mg.L<sup>-1</sup>, hal ini disebabkan karena tidak terdapat perlakuan kerapatan tanaman. Perlakuan tanaman K4 pada hari ke 7 setelah perlakuan mempunyai nilai timbal (Pb) terkecil yaitu 0,57 mg.L<sup>-1</sup> dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Dari pengamatan pada hari ke 28 HST nilai terendah terdapat pada perlakuan tanaman K2, K3, dan K4 dengan nilai masing-masing 0,08 mg.L<sup>-1</sup>, 0,07 mg.L<sup>-1</sup>, dan 0,001 mg.L<sup>-1</sup>. Tanaman eceng gondok mampu menurunkan kadar Timbal (Pb) hingga 0,001 mg.L<sup>-1</sup>. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi tingkat kerapatan tanaman maka semakin besar pula kemampuan untuk menurunkan logam timbalnya. Tumbuhan eceng gondok merupakan tumbuhan air yang memiliki kemampuan dalam menstabilkan lingkungan perairan yang tercemar oleh berbagai zat pencemar perairan. Menurut Djamil (1989) dalam Muhammadong (2004) logam berat dalam proses penyerapan membentuk kompleks koordinat kovalen dengan tumbuhan *Eichornia crassipes*. Dengan demikian *Eichornia crassipes* mampu menyerap polutan perairan. *Eichornia crassipes*, mampu menurunkan bahkan menghilangkan konsentrasi logam berat plumbum dalam media penelitian. Stowel (1980) dalam Tato (2004) mengemukakan bahwa tumbuhan air memiliki kemampuan secara umum untuk mensupport komponen-komponen tertentu di dalam perairan, dan hal tersebut sangat bermanfaat dalam proses pengolahan limbah cair.

#### 4.2.2. Serapan Pb (Timbal) Oleh Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

Timbal merupakan salah satu logam berat yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Dalam bumi terkandung sekitar 13 ppm, di dalam perairan sekitar 3 mg/L dan dalam air tanah jumlahnya kurang dari 0,1 ppm (Nybakken, 1985 dalam Sahara, 2009). Kandungan logam berat timbal dapat membahayakan bagi kehidupan manusia jika konsentrasi melebihi batas ambang yang diijinkan. Timbal 95% bersifat anorganik dan dalam bentuk garam anorganik yang umumnya kurang larut dalam air. Jenis senyawa yang terdapat pada timbal hampir tidak larut dalam air, namun dapat dengan mudah larut dalam pelarut organik misalnya dalam lipid. Nilai kandungan timbal pada limbah pengolahan karet mengalami penurunan yang signifikan setelah mendapat perlakuan menggunakan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*). Tanaman eceng gondok dapat menyerap kandungan timbal yang terdapat pada limbah pengolahan karet. Serapan Timbal (Pb) oleh tanaman eceng gondok masing-masing perlakuan disajikan dalam Tabel 8.

Tabel 3. Serapan Pb (Timbal) Oleh Tanaman Eceng Gondok

Perlakuan	Kadar Pb (%)	Serapan Pb (Timbal) g tan <sup>-1</sup>
K0	0,87	0 a
K1	0,45	1,18 b
K2	0,35	1,38 b
K3	0,43	1,68 b
K4	1,03	5,74 c

Keterangan: Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama, tidak berbeda nyata pada uji BNT 5% ( $p = 0,05$ )

Berdasarkan hasil pengamatan serapan Timbal (Pb) pada Tabel diatas dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan serapan Timbal (Pb) pada setiap perlakuan tanaman (Lampiran 4). Pada perlakuan di atas serapan Timbal (Pb) tertinggi terdapat pada perlakuan K4 dengan kerapatan 8 tanaman yaitu mampu menyerap kadar Pb (Timbal) sebesar 5,74 g tan<sup>-1</sup>. Perlakuan dengan serapan Pb (Timbal) terendah yaitu pada perlakuan K1 dengan perlakuan 2 tanaman yaitu sebesar 1,18 g tan<sup>-1</sup>.

Serapan kadar logam berat Pb (Timbal) disebabkan oleh jumlah akar tanaman eceng gondok yang digunakan pada masing-masing perlakuan, akar eceng gondok dapat menyerap kandungan logam berat timbal yang ada di limbah



pengolahan karet dengan maksimal. Menurut Suwondo *et al.* (2005) menyatakan bahwa akar *Eichornia crassipes* memiliki kemampuan untuk menyerap, mengendapkan, dan mengakumulasi logam dari limbah yang biasa dikenal sebagai rhizofiltrasi. Tumbuhan *Eichornia crassipes* juga memiliki akar serabut dan memenuhi kolom air hingga masuk ke dalam lumpur perairan (sistem perakaran dalam), kondisi demikian memungkinkan *Eichornia crassipes* mempunyai kesempatan mengabsorpsi ion logam lebih banyak (Puspita *et al.*, 2011).

#### 4.2.3. Nilai pH Limbah Cair Karet

Derajat keasaman (pH) sangat berpengaruh terhadap kehidupan organisme air sehingga sering digunakan sebagai petunjuk untuk menyatakan baik buruknya lingkungan perairan (Sugiharto, 1987). pH merupakan salah satu baku mutu kualitas limbah cair karet. Pengukuran nilai pH sangat penting karena banyak reaksi kimia dan biokimia yang terjadi pada tingkat pH tertentu dalam lingkungan pH yang sempit. Tinggi rendahnya pH dipengaruhi oleh kondisi suatu lingkungan. Nilai pH juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi produktivitas suatu limbah. Nilai pH pada suatu perairan mempunyai pengaruh yang besar terhadap organisme perairan sehingga berpengaruh terhadap baik buruknya suatu perairan. Nilai pH pada masing-masing pengamatan dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 4. pH Limbah Cair Karet Selama 28 Hari Pengamatan

Perlakuan	pH			
	7HST	14HST	21HST	28HST
K0	6,6 a	6,5 a	6,7 a	7,0 a
K1	6,2 ab	6,4 a	6,4 ab	6,6 ab
K2	6,0 b	6,2 a	6,2 bc	6,2 abc
K3	5,8 b	6,0 ab	5,9 cd	6,0 bc
K4	5,7 b	5,6 b	5,8 d	5,6 c
BNT 5%	0,58	0,60	0,39	0,79

Keterangan: Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama, tidak berbeda nyata pada uji BNT 5% ( $p=0,05$ ); HST= Hari Setelah Tanam

Berdasarkan hasil pengamatan menunjukkan bahwa adanya perbedaan antar kerapatan tanaman dalam menurunkan pH dan lamanya waktu pengamatan berpengaruh pada nilai pH. Pada pengamatan hari ke-7 terdapat perbedaan nyata antar perlakuan (Lampiran 7), pH tertinggi terdapat pada perlakuan K0 yaitu pH 7,0 dan pH terendah terdapat pada perlakuan K4 ketika pada 28 HST yaitu pH



5,6. Pada pengamatan hari ke-14 pengaruh perlakuan berbeda nyata terhadap pH dengan pH tertinggi pada perlakuan K0, K1 dan K2 dengan nilai pH masing-masing adalah 6,5, 6,4, dan 6,2 dan pH terendah terdapat pada perlakuan K4 dengan kerapatan 8 tanaman yaitu 5,6. Pengamatan hari ke-21 menunjukkan pH tertinggi terdapat pada perlakuan K0 dan K1 dengan pH yaitu 6,6 dan 6,4. Kemudian pada 28 hari setelah tanam nilai pH tertinggi pada perlakuan K0 dan K1 yaitu 7,0 dan 6,6 sedangkan pH terendah terdapat pada perlakuan K4 yaitu 5,6. Perlakuan K0 memiliki pH terbesar dibandingkan pada perlakuan lainnya, dan perlakuan kerapatan tanaman K4 mempunyai nilai pH terkecil dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan tanaman, dimana perlakuan K0 yaitu perlakuan tanpa tanaman sehingga nilai pH nya semakin naik. Pada hari ke-7 pH limbah cair karet telah mengalami penurunan hal tersebut karena tanaman eceng gondok yang digunakan dalam perlakuan memanfaatkan CO<sub>2</sub> sebagai bahan fotosintesis.

Menurut Effendi (2000), menyatakan bahwa karbondioksida berkaitan erat dengan pH yaitu semakin tinggi kadar karbondioksida maka nilai pH semakin rendah. Apabila dilihat secara keseluruhan kisaran pH tertinggi berkisar antara 6,6-7,0 yaitu pada perlakuan K0 dan pH terendah pada perlakuan K4 dengan pH berkisar 5,6-5,7. Menurut Yuningsih *et al.* (2014) pH perairan terbuka lebih tinggi dibandingkan dengan pH perairan tertutup tanaman eceng gondok dengan nilai pH masing-masing 5,8 dan 5,2. Penurunan nilai pH disebabkan karena bahan logam berat telah diserap atau diikat oleh akar tanaman eceng gondok sehingga memudahkan mikroba perombak dalam proses pendegradasian.

#### 4.2.4. BOD ( *Biological Oxygen Demand* ) Limbah Cair Karet

BOD ( *Biological Oxygen Demand* ) didefinisikan sebagai banyaknya oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk memecahkan bahan-bahan organik yang terdapat di dalam air. Pemeriksaan BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan penduduk atau industri. BOD merupakan oksigen yang terlarut dalam air dan diperlukan oleh mikroorganisme dalam air untuk dekomposisi bahan organik. Dari hasil pengamatan dapat diketahui bahwa pada perlakuan K3 dengan kerapatan 6 tanaman mendapatkan hasil terendah 4,1 mg.L<sup>-1</sup> dibandingkan dengan perlakuan K0 dengan hasil

tertinggi yaitu 6,1 mg.L<sup>-1</sup>. Semakin rendah kandungan BOD di dalam air maka kualitas limbah cair karet menjadi meningkat. Rata-rata kadar BOD masing-masing perlakuan dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 5. Rata-rata Kadar BOD Limbah Cair Karet

Perlakuan	BOD mg.L <sup>-1</sup>	
	7HST	28HST
K0	6,1	4,6 b
K1	6,1	5,1 d
K2	8,1	4,6 bc
K3	5,9	4,1 a
K4	7,7	4,8 c
BNT 5%	-	0,22

Keterangan: Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama, tidak berbeda nyata pada uji BNT 5% ( $p=0,05$ ); HST= Hari Setelah Tanam

Berdasarkan hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa adanya perbedaan antar perlakuan tanaman dengan tingkat kadar BOD yang mengalami penurunan (Lampiran 5). Perlakuan kerapatan tanaman berpengaruh terhadap nilai BOD. Pada hari Ke-28 pengamatan terdapat perbedaan nyata, nilai BOD terendah terdapat pada perlakuan K3 dengan kerapatan 6 tanaman dengan nilai BOD 4,1 mg.L<sup>-1</sup>. Pada pengamatan 28 hari pengaruh perlakuan berbeda nyata terhadap BOD dengan nilai BOD tertinggi pada perlakuan K1 kerapatan 2 tanaman dengan nilai 5,1 mg.L<sup>-1</sup> dan nilai BOD terendah pada perlakuan K3 dengan nilai BOD 4,8 mg.L<sup>-1</sup>. Pada hari Ke-7 setelah tanam pengaruh antar perlakuan tidak terdapat perbedaan nyata terhadap nilai BOD. Hal ini disebabkan karena perlakuan tersebut masih berumur 7 hari sehingga belum menunjukkan penurunan yang nyata. Setiap perlakuan mengalami penurunan kadar BOD, berkurangnya oksigen selama oksidasi ini sebenarnya selain digunakan untuk oksidasi bahan organik, juga digunakan dalam proses sintesa sel serta oksidasi sel dari mikroorganisme. Uji BOD tidak dapat digunakan untuk mengukur jumlah bahan-bahan organik yang sebenarnya terdapat di dalam air, tetapi hanya mengukur secara relatif jumlah konsumsi oksigen yang digunakan untuk mengoksidasi bahan organik tersebut. Menurut Kristanto (2002) semakin banyak oksigen yang dikonsumsi, maka semakin banyak pula kandungan bahan-bahan organik di dalamnya. Penurunan BOD disebabkan oleh berkurangnya kandungan bahan organik maupun anorganik pada limbah cair, karena semakin rendah kandungan bahan

organik maka kebutuhan oksigen oleh mikroba untuk mendegradasi atau mengikat bahan organik maupun anorganik juga semakin kecil (Sugiharto, 1987 dalam Mustaniroh *et al.*, 2010).

#### 4.2.5. DO ( *Dissolved Oxygen* ) Limbah Cair Karet

Nilai oksigen terlarut (DO) dalam limbah cair pengolahan karet berpengaruh dalam menentukan kualitas air limbah. Menurut Mahida (1984) oksigen terlarut merupakan faktor utama yang menentukan apakah perubahan-perubahan biologis yang dihasilkan oleh organisme aerobik atau anaerobik. Nilai oksigen terlarut (DO) dapat digunakan untuk mengetahui apakah air tercemar atau tidak. Nilai oksigen terlarut (DO) limbah cair pengolahan karet sebelum perlakuan adalah  $6,2 \text{ mg.L}^{-1}$ , setelah mendapat perlakuan dengan tanaman eceng gondok nilai oksigen terlarut mengalami kenaikan. Nilai rata-rata oksigen terlarut (DO) limbah cair karet dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 6. Rata-rata Nilai Oksigen Terlarut (DO)

Perlakuan	DO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	
	7 HST	28 HST
K0	6,8 c	7,0 a
K1	6,5 a	7,4 bc
K2	6,9 d	7,1 a
K3	6,6 b	7,7 c
K4	6,5 ab	7,2 ab
BNT 5%	0,13	0,27

Keterangan: Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama, tidak berbeda nyata pada uji BNT 5% ( $p=0,05$ ); HST= Hari Setelah Tanam

Berdasarkan Tabel rata-rata di atas dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antar perlakuan. Nilai oksigen terlarut (DO) terendah terdapat pada perlakuan K4 dan K1 dengan nilai oksigen terlarut (DO) pada hari ke-7 sebesar  $6,5 \text{ mg.L}^{-1}$ . Nilai oksigen terlarut (DO) mengalami kenaikan selama 28 hari pengamatan. Pada hari Ke-7 nilai oksigen terlarut (DO) tertinggi terdapat pada perlakuan K2 (Kerapatan 4 tanaman) dengan rata-rata oksigen terlarut (DO)  $6,9 \text{ mg.L}^{-1}$  dan nilai terendah pada perlakuan K1 (Kerapatan 2 tanaman) dan K4 (Kerapatan 8 tanaman) dengan nilai oksigen terlarut  $6,5 \text{ mg.L}^{-1}$ . Pada hari ke 28 nilai oksigen terlarut (DO) mengalami kenaikan, nilai oksigen terlarut pada perlakuan K0 (tanpa tanaman) sebesar  $7,0 \text{ mg.L}^{-1}$ . Nilai oksigen terlarut (DO)

tertinggi terdapat pada perlakuan K3 (Kerapatan 6 tanaman) yaitu sebesar 7,7 mg.L<sup>-1</sup>.

Nilai kadar oksigen terlarut (DO) mengalami kenaikan dari hari awal pengamatan sampai hari terakhir pengamatan. Perlakuan kerapatan tanaman berpengaruh terhadap penurunan dan kenaikan nilai oksigen terlarut. Menurut Simanjuntak (2007), Pengukuran tingkat kualitas air dilihat dari oksidet terlarut (DO) semakin tinggi kandungan oksigen terlarut maka semakin bagus kualitas air tersebut. Kelarutan oksigen di dalam air berpengaruh terhadap keseimbangan kimia perairan dan kehidupan biota, dan akan berkurang dengan adanya bahan organik yang mudah terurai. Sehingga dapat dikatakan, semakin sedikit konsentrasi oksigen terlarut di dalam air mencirikan adanya pencemaran bahan organik yang tinggi (Makmur *et al.*, 2012)

#### 4.2.6. Berat Basah Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Terhadap Pertumbuhan Tanaman

Berat basah tanaman adalah salah satu indikator yang digunakan untuk mengetahui pertumbuhan suatu tanaman. Berat tanaman eceng gondok diukur dihari terakhir setelah pengamatan. Setiap perlakuan tanaman mengalami kenaikan berat basah dibandingkan sebelum perlakuan. Kenaikan berat basah mengindikasikan bahwa di dalam limbah cair karet terdapat adanya kandungan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman dalam proses pertumbuhannya. Hal ini, dapat dilihat dari hasil perlakuan bahwa kenaikan tertinggi pada perlakuan K4 yaitu 730,1 g. Sedangkan berat basah terendah pada perlakuan K1 yaitu 352,2 g. Nilai rata-rata berat basah tanaman eceng gondok selama perlakuan disajikan dalam Tabel 12.

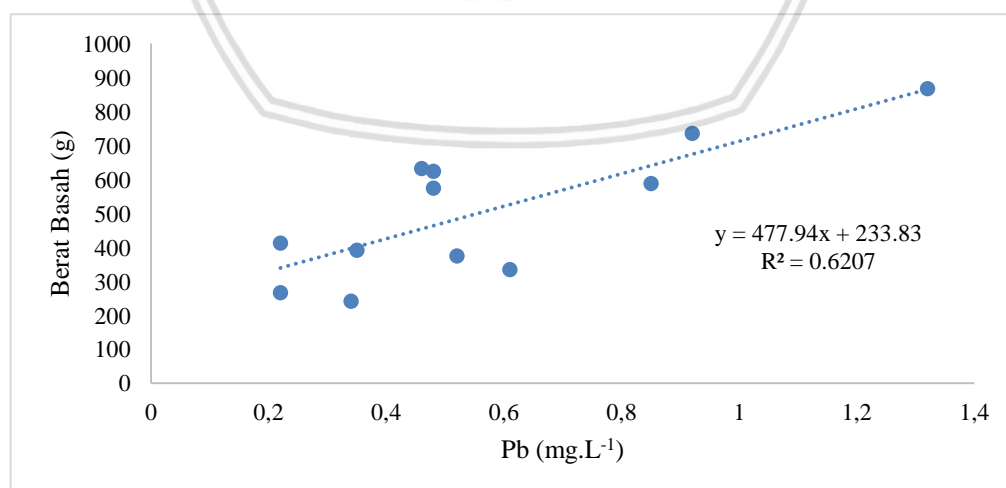
Tabel 7. Rata-rata Nilai Berat Basah Tanaman Eceng Gondok

Perlakuan	Berat Basah Tanaman Eceng Gondok (gram)
K0	-
K1	352,2 a
K2	459,4 a
K3	499,0 ab
K4	730,1 b
BNT 5%	233,5

Keterangan: Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama, tidak berbeda nyata pada uji BNT 5% ( $p=0,05$ ); HST= Hari Setelah Tanam

Terdapat perbedaan yang nyata antar perlakuan (Lampiran 8). Perlakuan K4 memiliki berat basah tertinggi dengan nilai berat basah sebesar 730,1 g, hal ini disebabkan oleh jumlah tanaman yang lebih banyak dibandingkan dengan perlakuan yang lainnya. Pengamatan jumlah tanaman dilakukan setiap 28 hari sekali. Kerapatan tanaman yang banyak maka jumlah perakarannya juga banyak sehingga mampu menyerap kandungan nutrisi yang terdapat pada limbah cair karet lebih banyak dibandingkan dengan kerapatan tanaman yang sedikit. Menurut Indah *et al.* (2014) peningkatan berat basah tanaman dipengaruhi adanya akar-akar tanaman yang mampu menyerap bahan organik karena mengandung nutrisi dan disimpan dalam jaringan vaskular untuk proses metabolisme perbanyakkan sel. Selain dari adanya akar tanaman berat basah juga dipengaruhi oleh jumlah air limbah karet yang digunakan dalam perlakuan, jika jumlah air terbatas maka akan mempengaruhi fotosintesis tanaman.

Apabila dilihat dari nilai korelasi sebesar 0,79 (Lampiran 12) hubungan antara berat basah tanaman dan serapan Timbal (Pb) menunjukkan kriteria sangat kuat. Jadi semakin tinggi berat basah tanaman maka serapan Timbal (Pb) juga semakin tinggi. artinya berat basah tanaman memberikan pengaruh terhadap serapan logam berat Timbal (Pb). Hubungan antara Berat Basah tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dengan serapan Timbal (Pb) (Tabel 8) didapatkan persamaan sebagai berikut:  $y = 477.94x + 233.83$  dengan nilai  $R^2 = 0.6207$ .



Gambar 1. Hubungan antara Berat Basah Tanaman dan Serapan Timbal (Pb)



$R^2$  dari persamaan regresi  $y = ax + b$  adalah 0.6207 dapat diartikan besarnya pengaruh berat kering tanaman terhadap serapan Timbal (Pb) adalah 62,07% dan sisanya 37,93% dipengaruhi faktor lain seperti suhu (Algifari, 2009). Tanda positif pada variable Serapan Timbal (Pb) menunjukkan kenaikan, sehingga apabila serapan logam berat Timbal (Pb) naik maka berat basah tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) juga akan naik. Kenaikan ini disebabkan karena eceng gondok (*Eichornia crassipes*) menyerap bahan-bahan yang ada di dalam air limbah cair karet termasuk Logam berat Timbal (Pb). Berdasarkan pernyataan Febrianingsih (2013), kemampuan tanaman eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dalam penyerapan karena adanya vakuola dalam struktur sel. Mekanisme penyerapan yang terjadi yaitu dengan adanya bahan-bahan yang diserap menyebabkan vakuola menggelembung, maka sitoplasma terdorong ke pinggiran sel sehingga protoplasma dekat dengan permukaan sel. Hal ini menyebabkan pertukaran atau penyerapan logam berat antara sebuah sel dengan sekelilingnya menjadi efisien.

#### 4.2.7. Berat Kering Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

Berat kering tanaman indikator yang sering digunakan sebagai indikator parameter pertumbuhan tanaman. Berat kering tanaman adalah berat suatu tanaman setelah melewati beberapa tahapan proses pengeringan. Berat kering tanaman sering mengindikasikan pola tanaman dalam mengakumulasi produk dari proses fotosintesis, selain itu merupakan faktor dari lingkungannya. Pengukuran berat kering tanaman dilakukan setelah pengovenan tanaman selesai dilakukan. Pengeringan tanaman dapat dilakukan secara langsung menggunakan cahaya matahari namun, untuk saat ini lebih banyak menggunakan oven. Pengovenan tanaman selama 2 x 24 jam, hal ini dilakukan agar kadar air yang terdapat ditanaman berkurang. Hasil berat kering tanaman tertinggi terdapat pada perlakuan K4 yakni sebesar 545 g. Sedangkan perlakuan terendah perlakuan K1 yakni sebesar 247,2 g. Nilai rata-rata berat kering tanaman eceng gondok disajikan dalam Tabel 13.



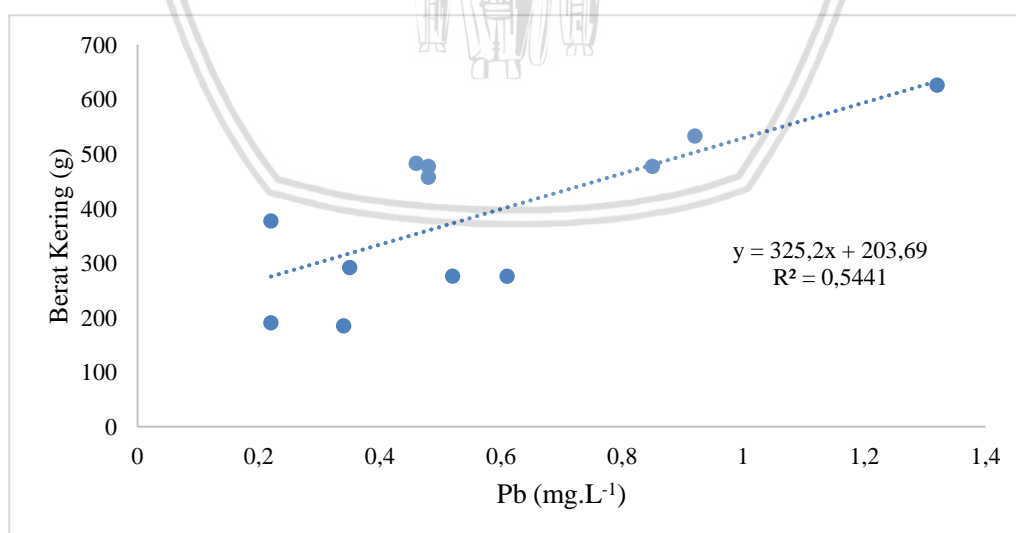
Tabel 8. Rata-rata Berat Kering Tanaman Eceng Gondok

Perlakuan	Berat Kering Tanaman Eceng Gondok (gram)
K0	-
K1	247,2 a
K2	381,7 ab
K3	374,7 ab
K4	545 b
BNT 5%	170,5

Keterangan: Bilangan yang didampingi huruf yang sama pada kolom yang sama, tidak berbeda nyata pada uji BNT 5% ( $p=0,05$ ); HST= Hari Setelah Tanam

Berat kering antar perlakuan terdapat perbedaan yang nyata (Lampiran 9). Hasil dari K4 memiliki berat kering tertinggi, hal ini disebabkan oleh jumlah tanamannya lebih banyak. Produksi tanaman biasanya lebih akurat dinyatakan dengan ukuran berat kering daripada dengan berat basah, karena berat basah sangat dipengaruhi oleh kondisi kelembaban (Sitompul dan Guritno, 1995).

Dilihat dari nilai korelasi sebesar 0,74 (Lampiran 12) hubungan berat kering tanaman dengan serapan Timbal (Pb) menunjukkan kriteria kuat, jadi semakin besar nilai berat kering tanaman maka semakin tinggi pula serapan Timbal (Pb). Hubungan antara berat kering tanaman dengan serapan logam berat Timbal (Pb) didapatkan persamaan yaitu sebagai berikut  $y = 325,2x + 203,69$  dengan nilai  $R^2 = 0,5441$ .



Gambar 2. Hubungan antara Berat Kering Tanaman dan Serapan Timbal (Pb)

Jika besarnya koefisien determinasi  $R^2$  dari persamaan regresi  $y = ax+b$  adalah 0,5441 dapat diartikan besarnya pengaruh Berat Kering tanaman terhadap

serapan Timbal (Pb) adalah 54,41%. dan sisanya faktor yang lain adalah 45,59% (Algifari, 2009). Hubungan berat kering tanaman dan serapan Timbal (Pb) berbanding positif atau lurus (Gambar 3). Bila nilai serapan Pb (x) meningkat maka berat kering tanaman (y) juga meningkat begitu juga sebaliknya. Hasil berat kering merupakan keseimbangan antara fotosintesis dan respirasi. Fotosintesis mengakibatkan peningkatan berat kering tanaman karena pengambilan CO<sub>2</sub> sedangkan respirasi mengakibatkan penurunan berat kering karena pengeluaran CO<sub>2</sub> (Gardner, *et al.* 1991).



## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini sebagai berikut:

1. Sistem fitoremediasi dengan menggunakan tanaman eceng gondok pada limbah cair industri karet menurunkan kadar logam berat Timbal (Pb) hingga sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001. Penurunan kadar logam berat Timbal (Pb) terjadi pada hari ke-28 dengan kerapatan tanaman 8 individu sebesar  $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$ .
2. Perlakuan kerapatan 8 tanaman menyebabkan nilai pH sebesar 5,6, Nilai BOD sebesar  $4,8 \text{ mg.L}^{-1}$ , Nilai DO sebesar  $7,2 \text{ mg.L}^{-1}$  dan mampu menurunkan kadar Timbal (Pb) sebesar  $0,001 \text{ mg.L}^{-1}$ . Nilai logam berat Timbal (Pb) tersebut menggambarkan peningkatan dari kualitas limbah cair karet kecuali nilai pada parameter pH.

### 5.2. Saran

Pada penelitian selanjutnya perlu dilakukan analisa uji mikrobiologi pada limbah cair karet serta perlu dilakukan uji fisik pada limbah cair karet. Penelitian ini perlu diterapkan di pabrik PT. Perusahaan Perkebunan Kalibendo agar limbah cair karet yang dibuang tidak mencemari lingkungan. Diperlukan solusi atau penelitian selanjutnya untuk mengolah dan memanfaatkan eceng gondok yang digunakan dalam penelitian agar tidak mencemari lingkungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Algifari. 2009. Analisis Statistik untuk Bisnis dengan Regresi, Korelasi, dan Nonparametrik. Edisi Pertama. Yogyakarta: BPPE.
- Barchia, M. F. 2009. Sumber Polutan dan Logam Berat. <http://www.faizbarchia.blogspot.com/.../sumber-polutan-dan-logam-berat.html>. [23 Oktober 2017].
- Dephut. 2015. Dasar-dasar Teknologi Pengolahan Limbah Cair. [Online]Available at: [http://www.dephut.go.id/INFORMASI/SETJEN/PUSSTAN/info\\_5\\_1\\_0604/isi\\_5.html](http://www.dephut.go.id/INFORMASI/SETJEN/PUSSTAN/info_5_1_0604/isi_5.html) . [Diakses 30 Januari 2017].
- Depkes RI. 1990. Peraturan Menteri Kesehatan RI No 416/Menkes/Per/IX/1990. Jakarta
- Dinas Jenderal Perkebunan. 2014. Statistik Perkebunan Indonesia 2013-2015-Karet. Ida Yunia Soepandi dan Yanuar arianto. Jakarta. Direktorat Perkebunan.
- Effendi, H. 2000. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya Lingkungan Perairan. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. IPB. Bogor.
- \_\_\_\_\_. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Cetakan Kelima. Yogyakarta: Kanisius.
- Fariez, Chairul dan Said, ZA. 2014. Fitoremediasi Air Tercemar Polutan Amoniak Dengan Memanfaatkan Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*). Jurnal Teknik Kimia Vol (1): 1.
- Febrianingsih, A. 2013. Pengaruh Lama Waktu Kontak Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Terhadap Penyerapan Logam Berat Merkuri (Hg). Vol 1, No 1 (2013) (kim.ung.ac.id / index.oho / KIMFIKK)
- Gabriel. J. F. 2001. Fisika Lingkungan. Jakarta: Penerbit Hipokrates.
- Gardner, F.P., Pearce, RB and Mitchel,R.L. 1991. Fisiologi Tanaman Budidaya (Diterjemahkan oleh: Herawati Susilo). Universitas Indonesia Press. Jakarta.
- Gerbono, A. dan Siregar, A. 2005. Kerajinan Eceng Gondok. Yogyakarta: Kanisius.
- Ginting, Perdana. 2007. Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Indutstri. Cetakan pertama. Bandung: Yrama Widya.
- Hanafiah, K.A. 2010. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. PT. Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Hartanti, P.I., Alexander, T.S.H. dan Rusiae W. 2014. Pengaruh Kerapatan Tanaman Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Terhadap Penurunan Logam Chromium Pada Limbah Cair Penyamakan Kulit.

- Herwanto, B., dan Eko Santoso. 2006. Adsorpsi Ion Logam Pb (II) Pada Membran Selulosa-Khitosan Terkait Silang. *Akta Kimindo*. 2 (1): 9-24.
- Hidayati, N. 2005. Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. Pusat Penelitian Biologi. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Bogor. 12: 35-40.
- Indah, L.S., Boedi, H., dan Prijadi, S. 2014. Kemampuan Eceng Gondok (*Eichhornia* sp.), Kangkung Air (*Ipomea* sp.), dan Kayu Apu (*Pistia* sp.) Dalam Menurunkan Bahan Organik Limbah Industri Tahu (Skala Laboratorium). *Diponegoro Journal of Maquares*. 3 (1): 1-6.
- Janudianto, Prahmono A, Napitupulu H, dan Rahayu S. 2013. Panduan Budidaya Karet Untuk Petani Skala Kecil. *Rubber Cultivation Guide For Small Scale Farmer*. Lembar Informasi Agfor 5. Bogor, Indonesia : World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program.
- Kristanto, P. 2002. Ekologi Industri. Yogyakarta: Ando Offset.
- Lahenda, S.S., Ellyke., dan Khoiron. 2005. Pemanfaatan Eceng Gondok Terhadap Penurunan Kadar Merkuri (Hg) Limbah Cair Pada Pertambangan Emas Tanpa Izin (PETI).
- Mahida. 1984. Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri. C.V Rajawali. Jakarta.
- Mangkoedihardjo S., 2005. Fitoteknologi dan Ekotoksikologi dalam Desain Operasi Pengomposan Sampah; Phytotechnology dan Ecotoxilocogyin Operational Design for Solid Waste Composting. Jurusan Teknik Lingkungan. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Surabaya.
- Marianto, A.L. 2001. Tanaman Air. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Muhammadong. 2004. Kajian Variasi Waktu Penggunaan Eceng Gondok dan Kangkung Air Terhadap Penurunan Kadar Seng (Zn) dan Krom (Cr) Air Limbah Industri. Thesis tidak dipublikasikan
- Mustaniroh, S.A., Sri, M.S., dan Etyka, O D. 2010. Evaluasi Pemasok Ikan Kakap Merah Berdasarkan *Vendor Performance Indicator* Dengan *Analitycal Hierarchy Process* Studi Kasus PT Inti Fuja Luhur Abadi. Jurusan Teknologi Industri Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Brawijaya.
- Ningsih, I.S.R., Wahyu, L. Yelmida, A. 2014. Fitoremediasi Pb Dari Limbah Cair Pengolahan Karet Dengna Pemanfaatn *Pistia startiotes* L. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan* Vol (1): 2.
- Nybakken, W. J. 1985. Biologi Laut Suatu Pendekatan Ekologis. Jakarta: PT. Gramedia.

- Priyanto, B., dan Prayitno, J. 2004. Fitoremediasi Sebagai Sebuah Teknologi Pemulihan Pencemaran Khususnya Logam Berat, [www.ri.go.id/produk\\_uu/isi/pp2001/lamp74'01.html](http://www.ri.go.id/produk_uu/isi/pp2001/lamp74'01.html).
- Puspita, U.R., Asrul, S.S., dan Nuning, V.H. 2011. Kemampuan Tumbuhan Air Sebagai Agen Fitoremediator Logam Berat Kromium (Cr) Yang Terdapat Pada Limbah Cair Industri Batik. Jurnal Penelitian Berkala. Perikanan Terubuk. Himpunan Alumni Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Riau. 39(1).
- Ratnani, R., 2012. Kemampuan Kombinasi Eceng Gondok dan Lumpur Aktif untuk Menurunkan Pencemaran pada Limbah Cair Industri Tahu. Jurnal Penelitian 8(1): 1.
- Ripley B.S., Muller and Behenna. 2006. "Biomass and Photosynthetic productivity of water hyacinth as effected by nutrient supply and mired biocontrol". Biological control 39: 392-400.
- Sahara, E. 2009, Jurnal : Distribusi Pb dan Cu pada berbagai ukuran partikel dan sedimen pelabuhan benoa.
- Sakaruddin, I.M. 2011. Komposisi Jenis, Kerapatan, Persen Penutupan dan Luas Penutupan Lamun di Perairan Pulau Panjang Tahun 1990-2010. Skripsi. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Simanjuntak, M. 2007. Oksigen Terlarut dan *Apparent oxygen Utilization* di Perairan Teluk Klabat, Pulau Bangka. Dalam : Ilmu Kelautan UNDIP. 12 (2) : 59-66.
- Sitompul, S. M dan Guritno, B. 1995. Analisis Pertumbuhan Tanaman. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Situmorang, M. 2007. Kimia lingkungan, cetakan 1, Medan: Fakultas MIPA UNIMED.
- Sriyana, H. Y. 2016. Kemampuan Eceng Gondok dalam Menurunkan Kadar Pb (II) dan Cr (VI) Pada Limbah dengan Sistem Air Mengalir dan Sistem Air Menggenang, Tesis S2. Fakultas Teknik. Jurusan Teknik Kimia UGM. Yogyakarta.
- Sudarmadji, S., Haryono, B., dan Suhardi. 1996. Analisa Bahan Makanan dan Pertanian. Yogyakarta: Liberty Yogyakarta.
- Sugiharto. 1987. Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah. Jakarta: UI Press
- Susana, T. 2005. Kualitas Zat Hara Di Perairan Teluk Lada, Banten. Oseanologi dan Limologi Di Indonesia. Pusat Penelitian Oseanografi. Pusat Penelitian Limologi-LIPI-Bogor-Jakarta.
- Suwarno, Wiji. 2006. Dasar – Dasar Ilmu Pendidikan. AR – Ruzz Media Jogjakarta: Jogjakarta.



- Suwondo., Fauziah, Y., Syafrianti., dan Wariyanti, S. 2005. Akumulasi Logam Cu (Cupprum) Dan Zn (Zincum) Di Perairan Sungai Siak Dengan Biogenesis. Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Universitas Riau. 1(2): 51-56
- Syafrudin, Diah, W., dan Badrus, Z. 2015. Pengaruh Jumlah Eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dan Waktu Tinggal Terhadap Penurunan Konsentrasi COD, BOD, dan Warna Dalam Limbah Batik. Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan Vol (1): 2.
- Tato, Syahriar. 2004. Model Tehnologi Pengelolaan Limbah Cair Rumah Tangga Dengan Filter Biogeokimia. Disertasi PPS Unhas. Makassar.
- Utomo, T. P., Udin, H., dan Erdi, S. 2012. Agroindustri Karet Indonesia. PT Sara Tutorial Nurani Sejahtera. Bandung,
- Widyaningsih, T.S., 2007. Penyerapan Logam Cr total dan  $\text{Cu}^{2+}$  Dengan Eceng gondok Pada Sistem Air Mengalir. Tesis S2. Fakultas Teknik. Jurusan Teknik Kimia UGM. Yogyakarta, Yogyakarta.
- Winardi. 2001. Studi Kinetika Penyisihan Organik Pada Sequencing Batch Reactor Aerob Dengan Parameter Rasio Waktu Pengisian Terhadap Waktu Reaksi. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Yudatomo. 2009. Logam Berat (*Heavy Metal*). PT. YTL. Jawa Timur, Paiton 5&6.
- Yulianti, D., Kusumo W., dan Widya M., 2005. Pemanfaatan Limbah Cair Karet PTPN IX Kebun Batu Jamus Karanganyar Hasil Fitoremediasi dengan *Azolla microphylla* Kaulf Untuk Pertumbuhan Tanaman Padi. Jurnal Biologi (7): 125-130.
- Yuningsih, H. D., Soedarsono, P., dan Anggoro, S. 2014. Hubungan Bahan Organik Dengan Produktifitas Perairan Pada Kawasan Tutupan Eceng Gondok, Perairan Terbuka Dan Keramba Jaring Apung Di Rawa Pening Kabupaten Semarang Jawa Tengah. Diponegoro Journal Of Maquares. 3(1): 37-43.
- Zimmels, Y., Kirzhner, F.A., and Malkovskaja, 2005. Application of *Eichornia crassipes* and *Pistia Stratiotes* for treatment of urban sewage ini Israel, *Journal of Environmental Management*. 81: 420-428.